สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

โทรศัพท์ไร้สาย

CORDLESS TELEPHONE

โดย

นายภัคภูมิ สมภพกุลเวช

นางสาวมนมณี กาญจันดา

วศ.
ภ328ท
2550

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 83301
วัน,เดือน,ปี 1 1 ส.ค. 2551

b 11967511
i.....

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โทรศัพท์ไร้สาย

CORDLESS TELEPHONE

โดย

นายภัคภูมิ สมภพกุลเวช 47010548

นางสาวมนมณี กาญจันดา 47010585

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.ปราโมทย์ วาดเขียน

ศ.ดร.วิวัฒน์ กิรานนท์

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2550

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง **โทรศัพท์ไร้สาย**

CORDLESS TELEPHONE

ผู้จัดทำ

1. นายภัคภูมิ	**สมภพกุลเวช**	**47010548**
2. นางสาวมนมณี	**กาญจันดา**	**47010585**

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.ปราโมทย์ วาดเขียน)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ศ.ดร.วิวัฒน์ กิรานนท์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โทรศัพท์ไร้สาย

Cordless Telephone

โดย นายภัคภูมิ สมภพกุลเวช 47010548
นางสาวมนมณี กาญจันดา 47010585

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ปราโมทย์ วาดเขียน
ศ.ดร.วิวัฒน์ กิรานนท์

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการนำเสนอการสร้างโทรศัพท์ไร้สาย ซึ่งประกอบด้วย เครื่องสถานีฐาน และเครื่องมือถือโดยจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมการสื่อสารระหว่างทั้งสองฝั่ง ผ่านอุปกรณ์รับส่งความถี่วิทยุ 2.4 GHz ส่วนของสถานีฐานนั้น จะประกอบไปด้วย วงจรยกหู/วางหู, วงจรกำเนิดสัญญาณ DTMF, วงจรเชื่อมต่อเสียงผู้พูด, วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล และวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาลอก ส่วนของเครื่องมือถือนั้น จะประกอบไปด้วย วงจรกำเนิดสัญญาณกระดิ่ง, วงจรกำเนิดสัญญาณ Dial Tone, วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล และวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาลอก

Abstract

This project presents a cordless telephone that consists of a base station and a phone handset which are controlled by a microcontroller and communicated by using a radio frequency module 2.4GHz. In a base station, it consists of hooks on/hooks off circuit, DTMF signal generator circuit, speech network circuit, A/D and D/A circuit. For a phone handset part, it consists of ringing tone generator circuit, dial tone generator circuit, A/D and D/A circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.ปราโมทย์ วาดเขียน เป็นอย่างสูงที่ได้ให้ความรู้ , คำแนะนำต่างๆ และการดูแลผู้จัดทำเป็นอย่างดี ด้วยความเมตตาและความเอาใจใส่ ตลอดจนให้คำปรึกษาต่างๆมาตั้งแต่เริ่มแรก จนทำให้โครงงานนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณเพื่อนๆ และพี่ๆในห้องโปรเจคทุกคนที่คอยให้กำลังใจและคอยช่วยเหลือในทุกๆด้าน และที่สำคัญขอขอบพระคุณครอบครัวของผู้จัดทำ ที่คอยให้กำลังใจ และคอยส่งเสริม สนับสนุนการทำโครงงานนี้จนสามารถทำได้สำเร็จไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
สารบัญ	II
สารบัญรูป	IV
สารบัญตาราง	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	2
2.1 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับโทรศัพท์	2
2,2 สัญญาณพื้นฐาน	5
2.3 ระบบการติดต่อกันระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับโทรศัพท์	6
2.4 วงจรในการป้องกันไฟจากสายโทรศัพท์ (Protection Circuit)	7
2.5 วงจรควบคุมเสียงพูด MC34014	8
2.6 วงจรขยายอินสทรูเมนท์	10
2.7 คุณสมบัติโดยทั่วไปของวงจรขยายอินสทรูเมนท์	12
2.8 วงจรออดิโอแอมป์	14
2.9 ทฤษฎีการแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นดิจิตอล	17
2.10 กระบวนการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนาลอก	27
2.11 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	32
2.12 TRW 2.4GHz	52
2.13 โหมดการทำงานของ TRW 2.4 GHz	54
2.14 การตั้งค่าโมดูลความถี่วิทยุ (TRW 2.4 GHz)	62
บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง	66
3.1 เครื่องโทรศัพท์	66
3.2 วงจรขยาย Instrument Amplifier	69
3.3 วงจรขยาย Audio Amplifier	70
3.4 การแปลง A/D และ D/A	71
3.5 ภาคการรับ / ส่ง ผ่าน TRW	74
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	77
4.1 ผลการทดลองวงจรโทรศัพท์	77
4.1.1 ผลการทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณความถี่คู่	77
4.1.2 ผลการทดลองวงจรกำเนิดเสียงเรียก	81
4.1.3 ผลการทดลองวงจรเสียงพูด	81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 ผลการทดลองของวงจรสื่อสาร	86
4.2.1 ผลการทดลองวงจร Instrument Amplifier	86
4.2.2 ผลการทดลองวงจร Audio Amplifier	87
4.2.3 ผลการทดลองวงจรอินสทรูเมนท์ร่วมกับออดิโอ	89
4.2.4 ผลการทดลองการแปลง A/D และ D/A	90
4.2.5 ผลการทดลองการส่งและรับข้อมูลผ่าน TRW	94
4.3 ผลการทดลองวงจรสื่อสารไร้สาย	97
4.3.1 ผลการทดลองวงจร Instrument Amplifier	97
4.3.2 ผลการทดลองวงจร A/D และ D/A	99
4.3.3 ผลการทดลองวงจร Audio Amplifier	100
4.4 ผลการทดลองของวงจรโทรศัพท์เมื่อรวมกับวงจรสื่อสารไร้สาย	101
บทที่ 5 บทวิจารณ์และบทสรุป	108
ภาคผนวก	
กิตติกรรมประกาศ	
หนังสืออ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องโทรศัพท์	3
รูปที่ 2.2 แสดงตำแหน่งความถี่ของหมายเลขโทรศัพท์	4
รูปที่ 2.3 แสดงรูปวงจรบริดจ์เร็กติไฟร์	7
รูปที่ 2.4 แสดงบล็อกไดอะแกรมภายในของ MC34014	8
รูปที่ 2.5 วงจรสมมูลย์ของการอินเตอร์เฟสกับคู่สายโทรศัพท์	9
รูปที่ 2.6 แสดงไดอะแกรมการใช้งานและสัญลักษณ์ทั่วไปของวงจรขยายอินสทรูเมนท์	11
รูปที่ 2.7 วงจรขยายคลาส A	15
รูปที่ 2.8 วงจรเพาเวอร์แอมป์คลาสบี	16
รูปที่ 2.9 สัญญาณ Direct Current (DC) หรือ Slowly Varying	18
รูปที่ 2.10 สัญญาณ Continuously Changing และ Single Event Altermating Current	19
รูปที่ 2.11 สัญญาณ Pulse Amplitude	19
รูปที่ 2.12 ไดอะแกรมแสดงการแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นดิจิตอล ด้วยวิธี CountingConverter	20
รูปที่ 2.13 กราฟแสดงการแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล	21
รูปที่ 2.14 Binary Search Strategy	22
รูปที่ 2.15 แสดงวงจรของ Dual-slop integrating ADC	22
รูปที่ 2.16 กราฟความชันของ Dual-slop integrating ADC	24
รูปที่ 2.17 ไดอะแกรมของการแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นดิจิตอลแบบแฟลช 3 บิต	25
รูปที่ 2.18 ไดอะแกรมของการแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นดิจิตอลแบบติดตาม	25
รูปที่ 2.19 ไดอะแกรมแสดงการแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นดิจิตอลแบบอินทิเกรต	26
รูปที่ 2.20 แผนผังและช่วงเวลาการทำงานของการแปลงความชันคู่	26
รูปที่ 2.21 แสดงการแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล แบบการประมาณสืบเนื่อง	27
รูปที่ 2.22 ระบบการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนาลอก	28
รูปที่ 2.23 Transfer Curve ในอุดมคติของ DAC 3 บิต	28
รูปที่ 2.24 คลื่นไซน์ที่สร้างจาก DAC	29
รูปที่ 2.25 Summed Source DAC	30
รูปที่ 2.26 Switched Voltage R-2R DAC	31
รูปที่ 2.27 Switched Current R-2R DAC	31
รูปที่ 2.28 Switched Pole DAC	32
รูปที่ 2.29 ไดอะแกรมโครงสร้างภายในไมโครคอนโทรลเลอร์	33
รูปที่ 2.30 การจัดขาของ MCS-51	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.31 วงจรออสซิลเลเตอร์บนชิพ	36
รูปที่ 2.32 การต่อพอร์ทเข้ากับระบบบัสภายในของ MCS-51	37
รูปที่ 2.33 การจัดหน่วยความจำของ MCS-51	37
รูปที่ 2.34 ตำแหน่งของหน่วยความจำแบบไบท์และแบบบิต	39
รูปที่ 2.35 ขั้นตอนต่าง ๆ ในการอ่านข้อมูล	40
รูปที่ 2.35 การใช้ MCS-51 ปิด-เปิดหลอดไฟ	44
รูปที่ 2.36 ไดอะแกรมกลุ่มสัญญาณที่ใช้อ่านข้อมูล	46
รูปที่ 2.37 ไดอะแกรมการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก	47
รูปที่ 2.38 การต่อ MCS - 51 กับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก	48
รูปที่ 2.39 ไดอะแกรมเวลาการอ่านและเขียนข้อมูลกับหน่วยความจำภายนอก	49
รูปที่ 2.40 สัญญาณต่างๆ ที่เกิดขึ้นขณะทำคำสั่ง MOVX	50
รูปที่ 2.41 การต่อหน่วยความจำโปรแกรมกับ MCS-51	51
รูปที่ 2.42 การรีเซต MCS-51	52
รูปที่ 2.43 แสดงการจัดขาของ TRW 2.4 GHz	53
รูปที่ 2.44 แสดง Data Package Diagram	54
รูปที่ 2.45 แสดงการรับข้อมูลด้วยอัตราเร็วต่ำ(10kbps)แต่ส่งด้วยอัตราเร็วสูง(1 Mbps)	55
รูปที่ 2.46 แสดงการใช้กระแสไฟฟ้าของการส่งแบบShockBurst และแบบธรรมดา	55
รูปที่ 2.47 แสดงไดอะแกรมเวลาของ ShockBurst in Tx	56
รูปที่ 2.48 แสดงไดอะแกรมเวลาของ ShockBurst in Rx	56
รูปที่ 2.49 แสดงไดอะแกรมเวลาของ Direct Mode in Tx	57
รูปที่ 2.50 แสดงไดอะแกรมเวลาของ Direct Mode in Rx	57
รูปที่ 2.51 แสดงการรับข้อมูลสองช่องสัญญาณพร้อมกัน(DuoCeiver Mode)	58
รูปที่ 2.52 แสดงไดอะแกรมเวลาสำหรับ configuration ของ TRW 2.4GHz	60
รูปที่ 2.53 แสดงไดอะแกรมเวลาของ power down (VCC off) ไปยัง Standby Mode	61
รูปที่ 2.54 แสดงโหมด power down (VCC off) ไปยัง active mode	61
รูปที่ 3.1 วงจรกำเนิดเสียงเรียก	66
รูปที่ 3.2 วงจรกำเนิดสัญญาณความถี่คู่	67
รูปที่ 3.3 วงจรเสียงพูด	68
รูปที่ 3.4 วงจรเครื่องโทรศัพท์	69
รูปที่ 3.5 แสดงวงจรขยายอินสทรูเมนท์	70
รูปที่ 3.6 แสดงวงจร Audio Amplifier Gain = 20	70
รูปที่ 3.7 บล็อกไดอะแกรมของอุปกรณ์แปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล	71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณแอนาลอกอินพุท และสัญญาณแอนาลอกเอาท์พุท	72
รูปที่ 3.9 แสดงวงจรการแปลง A/D และ D/A	73
รูปที่ 3.10 แสดงขั้นตอนการส่งข้อมูลผ่าน TRW	74
รูปที่ 3.11 แสดงขั้นตอนการรับข้อมูลผ่าน TRW	75
รูปที่ 3.12 แสดงวงจรภาคการรับ/ส่ง ผ่าน TRW	76
รูปที่ 4.1 สัญญาณดีทีเอ็มเอฟ	77
รูปที่ 4.2 สเปคตรัมสัญญาณคีย์ 1	78
รูปที่ 4.3 สเปคตรัมสัญญาณคีย์ 2	78
รูปที่ 4.4 สเปคตรัมสัญญาณคีย์ 3	79
รูปที่ 4.5 สเปคตรัมสัญญาณคีย์ 1	79
รูปที่ 4.6 สเปคตรัมสัญญาณคีย์ 4	80
รูปที่ 4.7 สเปคตรัมสัญญาณคีย์ 7	80
รูปที่ 4.8 สัญญาณเรียกเข้า	81
รูปที่ 4.9 สัญญาณเมื่อยังไม่ยกหูเมื่อวัดเป็นสัญญาณไฟกระแสตรง	82
รูปที่ 4.10 สัญญาณเมื่อยังไม่ยกหูเมื่อวัดเป็นสัญญาณไฟกระแสสลับ	82
รูปที่ 4.11 สัญญาณเมื่อยกหูเมื่อวัดเป็นสัญญาณไฟกระแสตรง	83
รูปที่ 4.12 สัญญาณเมื่อยกหูเมื่อวัดเป็นสัญญาณไฟกระแสสลับ	83
รูปที่ 4.13 สัญญาณกดปุ่ม	84
รูปที่ 4.14 สัญญาณรอสาย	84
รูปที่ 4.15 สัญญาณสายไม่ว่าง	85
รูปที่ 4.16 สัญญาณเสียงพูด	85
รูปที่ 4.17 สัญญาณรูปไซน์ที่ผ่านวงจรอินสทรูเมนท์	86
รูปที่ 4.18 แสดงสัญญาณเสียงที่ผ่านวงจรอินสทรูเมนท์	87
รูปที่ 4.19 สัญญาณรูปไซน์ที่ผ่านวงจรออดิโอ	88
รูปที่ 4.20 สัญญาณเสียงที่ผ่านวงจรออดิโอ	88
รูปที่ 4.21 สัญญาณรูปไซน์ที่ผ่านวงจรอินสทรูเมนท์ร่วมกับวงจรออดิโอ	89
รูปที่ 4.22 สัญญาณเสียงที่ผ่านวงจรอินสทรูเมนท์ร่วมกับวงจรออดิโอ	90
รูปที่ 4.23 แสดงกราฟผลการแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล	91
รูปที่ 4.24 สัญญาณรูปไซน์ที่ผ่านวงจร A/D และ D/A	93
รูปที่ 4.25 สัญญาณรูปสี่เหลี่ยมที่ผ่านวงจร A/D และ D/A	93
รูปที่ 4.26 สัญญาณรูปสามเหลี่ยมที่ผ่านวงจร A/D และ D/A	94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.27 แสดงสัญญาณข้อมูลทางภาคส่ง 95

รูปที่ 4.28 แสดงสัญญาณข้อมูลทางภาครับ 95

รูปที่ 4.29 แสดงเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลต่อการส่ง 1 ครั้ง 96

รูปที่ 4.30 แสดงอัตราการแซมปลิ้ง 97

รูปที่ 4.31 แสดงสัญญาณเสียงที่ออกจากวงจรอินสทรูเมนท์ 98

รูปที่ 4.32 แสดงสัญญาณเสียงที่ออกจากวงจรยกระดับสัญญาณ 98

รูปที่ 4.33 แสดงสัญญาณเสียงที่ผ่านการแปลง A/D 99

รูปที่ 4.34 แสดงสัญญาณเสียงที่ผ่านการแปลง D/A 100

รูปที่ 4.35 แสดงสัญญาณเสียงที่ผ่านวงจรออดิโอแอมป์ 101

รูปที่ 4.36 แสดงสัญญาณเสียงจากไมโครโฟนที่ผ่านการยกระดับสัญญาณ 102

รูปที่ 4.37 แสดงสัญญาณเสียงจากไมโครโฟนหลังจากการส่งผ่าน TRW 103

รูปที่ 4.38 แสดงสัญญาณเสียงจากไมโครโฟนที่ส่งผ่านสายโทรศัพท์ 104

รูปที่ 4.39 แสดงสัญญาณเสียงที่ผ่านการยกระดับสัญญาณ 105

รูปที่ 4.40 แสดงสัญญาณเสียงหลังจากการส่งผ่าน TRW 106

รูปที่ 4.41 แสดงสัญญาณเสียงหลังผ่านวงจรออดิโอแอมป์ 107

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ขาควบคุมต่างๆของพอร์ท 3	35
ตารางที่ 2.2 แสดงบิตและหน้าที่ต่าง ๆ ใน PSW	42
ตารางที่ 2.3 แสดงขาของ TRW2.4GHz และรายละเอียด	53
ตารางที่ 2.4 แสดงConfiguration words	59
ตารางที่ 2.5 แสดงตำแหน่งบิตของช่องสัญญาณความถี่และโหมดการทำงาน	62
ตารางที่ 2.6 แสดงการกำหนดค่ากำลังงานของภาคส่ง	62
ตารางที่ 2.7 แสดงการกำหนดค่าสถานะของตำแหน่งบิตที่ 10 ถึง 12	63
ตารางที่ 2.8 แสดงตารางการกำหนดค่า ADDR_W	64
ตารางที่ 2.9 แสดงตัวอย่างการกำหนดแอดเดรสของตัวรับในช่องสัญญาณที่ 1	64
ตารางที่ 2.10 ตารางแสดงจำนวนความกว้างของบิตข้อมูลในช่องสัญญาณที่ 1	65
ตารางที่ 2.11 ตารางแสดงจำนวนความกว้างของบิตข้อมูลในช่องสัญญาณที่ 2	65
ตารางที่ 2.12 ตารางแสดงการกำหนดค่าให้กับบิตที่ 120 – 143	65
ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงผลการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนาลอก	92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

ในปัจจุบันการสื่อสารโทรคมนาคมได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันมากขึ้น ในวันหนึ่งๆเรา ต้องพบกับการสื่อสารต่างๆมากมาย โทรศัพท์ก็เป็นสิ่งจำเป็นสิ่งหนึ่งที่ใช้ในการติดต่อสื่อสาร และใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากโทรศัพท์สามารถติดต่อกันได้อย่างสะดวกรวดเร็ว โดยผู้รับและผู้ส่งสามารถติดต่อกันได้โดยตรงซึ่งเพียงกดปุ่มหรือหมุนโทรศัพท์ไม่กี่วินาทีก็สามารถติดต่อกันได้

โทรศัพท์ไร้สายก็เป็นอุปกรณ์การสื่อสารอีกประเภทหนึ่ง ที่อำนวยความสะดวกได้ดีอีกรูปแบบหนึ่ง ซึ่งในโครงงานนี้ เราจะใช้โมดูล TRW2.4GHz เป็นตัวช่วยในการส่งและรับสัญญาณแบบไร้สาย โดยอาศัยคลื่นความถี่วิทยุเป็นคลื่นพาห์ อีกทั้งยังมีข้อได้เปรียบมากกว่าการส่งสัญญาณแบบเก่า เช่น การมอดูเลตความถี่(FM) หรือ การมอดูเลตแอมพลิจูด(AM) คือ สามารถทนต่อสัญญาณรบกวนได้ดี และง่ายต่อการใช้งาน อีกทั้งตัวโมดูลนี้ยังสามารถรับและส่งข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว โดยไมโครคอนโทรเลอร์ฝั่งรับจะนำสัญญาณที่ได้จากโมดูลคลื่นความถี่วิทยุมาประมวลผลและใช้งานต่อไป ในส่วนของคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของ โมดูล TRW นั้น จะเลือกใช้ คอนโทรลเลอร์ที่สามารถแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลและแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนาลอกได้ในตัว เพื่อความเหมาะสมในการใช้งานแบบไร้สาย

ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการสร้างและออกแบบการสื่อสารจากโทรศัพท์ตัวแม่ไปยังส่วนสื่อสารไร้สายที่เคลื่อนที่ได้ โดยจะติดต่อเฉพาะสัญญาณเสียง และขอบเขตของโครงงานนี้สามารถส่งสัญญาณได้ในระยะ 30 เมตร โดยมีสิ่งกีดขวาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับโทรศัพท์

2.1.1 ระบบโทรศัพท์

ระบบโทรศัพท์ คือ ระบบสื่อสารที่มีโครงข่ายชุมสายบริการระหว่างสมาชิก และผู้รู้เลขหมายสมาชิกสามารถเรียกคู่สนทนาเพื่อคุยธุระต่างๆโดยลดการเดินทางที่ไม่จำเป็นได้

การเรียกทางโทรศัพท์ คือ การเรียกผ่านระบบโทรศัพท์ ระหว่างผู้เรียก และผู้รับ

ผู้เรียก คือ ผู้เริ่มต้นการเรียก จะเรียกด้วยการแจ้งให้พนักงานเชื่อมต่อกับผู้รับ เช่น การหมุน หรือกดเลขหมายของผู้รับ เมื่อโทรศัพท์ของผู้รับนั้นเป็นคู่สายของชุมสายอัตโนมัติ

ผู้รับ คือ ผู้ที่ตอบรับการเรียกทางโทรศัพท์ เมื่อได้ยินเสียงสัญญาณกริ่งเรียก

คู่สายสมาชิก คือ คู่ตัวนำกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนมาจากเสียงพูด แจกจ่ายออกมาจากสถานีที่ติดตั้งเครื่องชุมสายโทรศัพท์ท้องถิ่นไปยังบ้านของผู้เช่า หรือสมาชิกแต่ละรายอย่างอิสระ

เครื่องชุมสายโทรศัพท์อัตโนมัติ คือ เครื่องที่ทำหน้าที่ต่อสลับคู่สายสมาชิกผู้เรียก และสมาชิกผู้รับโดยอัตโนมัติ

เครื่องโทรศัพท์ คือ อุปกรณ์สำหรับสมาชิก ใช้พูดและฟังในการสนทนาผ่านโครงข่ายโทรศัพท์

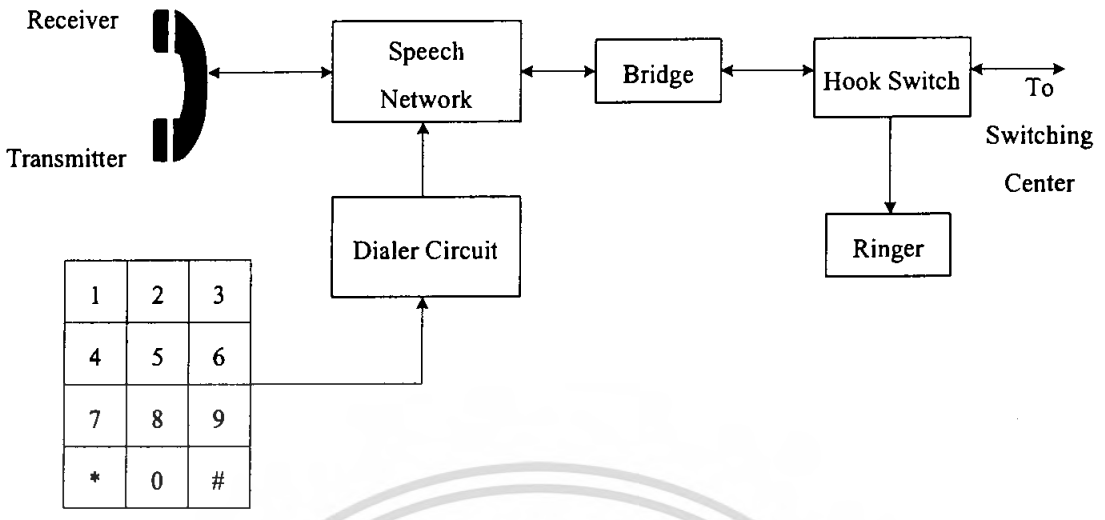
2.1.2 เครื่องโทรศัพท์

เครื่องโทรศัพท์ จะประกอบด้วยองค์ประกอบหลักใหญ่ๆ 7 อย่างด้วยกัน

1. ส่วนรับ (Receiver)
2. ส่วนส่ง (Transmitter)
3. กระดิ่ง (Ringer)
4. สปีช เน็ตเวิร์ค (Speech Network)
5. ฮุค สวิตช์ (Hook Switch)
6. ไดอัลเลอร์ (Dialer)
7. วงจรแปลงสัญญาณไฟตรง (Bridge Rectifier)

แสดงได้ดังบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องโทรศัพท์

ตำแหน่งของส่วนส่ง(Transmitter) และ ส่วนรับ(Receiver) ปกติจะติดอยู่ที่ตัวพูด-หูฟัง (handset) ของเครื่องโทรศัพท์ ซึ่งในส่วนส่งมีหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณเสียงเป็นสัญญาณไฟฟ้า (Electrical signal) ซึ่งสัญญาณนี้จะถูกส่งไปที่สวิตชิ่ง เซ็นเตอร์ (Switching Center) และส่วนรับมีหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณเสียง สัญญาณที่ส่วนรับนั้น จะประกอบด้วยสัญญาณแถบความถี่เสียง (Voiceband Signal) จากสวิตชิ่ง เซ็นเตอร์ และจะคอยลดทอนการป้อนกลับจากส่วนส่ง

สำหรับ Speech Network จะมีหน้าที่แยกสัญญาณส่งและรับในเครื่องโทรศัพท์ ดังนั้นสัญญาณทั้งหมดระหว่างสวิตชิ่งเซ็นเตอร์และเครื่องรับโทรศัพท์ สามารถส่งไปในคู่สายเดียวกันได้

ชุดสวิตชิ่งมีอยู่ 2 สถานะ คือ ออน-ฮุค(On-Hook) และ ออฟ-ฮุค(Off-Hook) ทั้ง 2 สถานะนี้ขึ้นอยู่กับว่าเป็นสัญญาณว่าง(Idle) หรือใช้งาน (Busy) ตามลำดับ ในสถานะ ออฟ-ฮุค ปกติจะทำงานก็ต่อเมื่อเรายกหู เมื่อยกหูกระแสที่ส่งจะบอกให้อุปกรณ์สวิตชิ่งเซ็นเตอร์รับรู้ว่าอยู่ในสถานะ ออฟ-ฮุค สวิตชิ่งเซ็นเตอร์จะปิดกันสัญญาณกระดิ่ง (Ringing Signal) และเตรียมรับสัญญาณ Dial Tone ฮุคสวิตช์จะต่อสายโทรศัพท์เข้ากับกระดิ่งเมื่ออยู่ในสถานะ ออน-ฮุค และต่อสายโทรศัพท์กับสปีชเน็ตเวิร์คในสถานะออฟ-ฮุค

ในสถานะ ออฟ-ฮุค วงจรโทรศัพท์จะรับ DC Bias จาก Power Supply ที่สวิตชิ่งเซ็นเตอร์ ส่วนสถานะออน-ฮุค จะปรากฏสัญญาณกระดิ่ง เมื่อมีผู้เรียกมาเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ซึ่งถูกสร้างขึ้นที่สวิตชิ่งเซ็นเตอร์และถูกส่งมาทำให้กระดิ่งในโทรศัพท์ทำงาน

วงจรแปลงสัญญาณไฟตรงทำหน้าที่ผ่านกระแสไฟตรงจากคู่สายโทรศัพท์ไปเลี้ยงวงจรโทรศัพท์ เมื่อฮุคสวิตช์อยู่ในสภาวะยก และทำหน้าที่ให้สัญญาณทั้งด้านบวก และด้านลบผ่านวงจรโทรศัพท์ได้

การส่งหมายเลขโทรศัพท์สามารถกระทำได้ 2 วิธี วิธีแรกเป็นการส่งสัญญาณพัลซ์ ที่แสดงถึงหมายเลขต่างๆกัน และอีกวิธีหนึ่งเป็นการส่งสัญญาณเป็นความถี่ต่างๆกัน โดยค่าตัวเลขจะถูกแทนค่าด้วยความถี่ 2 ค่าที่มอดูเลตกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 เครื่องโทรศัพท์หน้าปัดแบบกดปุ่ม (Push-Button Dial Telephone Set)

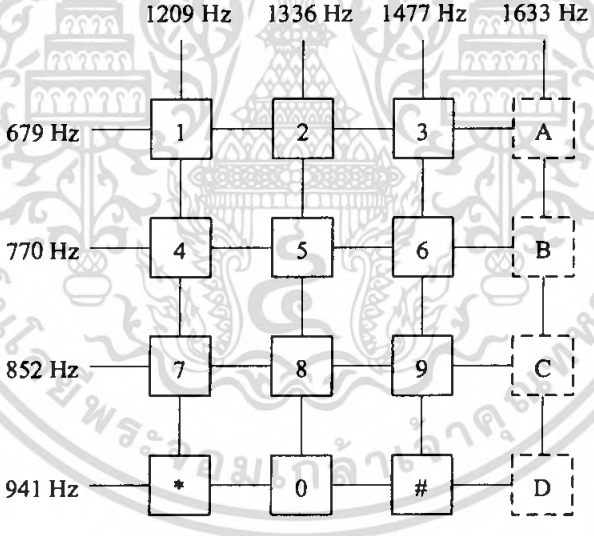
1. ระบบหน้าปัดแบบกดปุ่ม

ในระบบสวิตช์ สัญญาณเรียกของผู้เช่า เป็นสัญญาณจังหวะไฟตรงที่เท่ากับจำนวนครั้งของการหมุนของหน้าปัด เพื่อให้แผงสวิตช์ทำงาน จากการพัฒนาแผงสวิตช์อิเลคทรอนิกส์ จึงมีระบบสัญญาณหลายความถี่ ซึ่งมีลักษณะดังนี้

1. เวลาของการหมุนของหมายเลขได้ลดลงมาก
2. การหมุนหมายเลขง่ายกว่า
3. สามารถเพิ่มปุ่มกดอื่นนอกจากปุ่มหมายเลข เพื่อส่งสัญญาณบริการประเภทอื่น
4. เราใช้สัญญาณความถี่ของเสียง ซึ่งสามารถส่งระหว่างสถานีได้ และนำไปใช้ประโยชน์อื่นได้

2.1.4 ระบบสัญญาณของโทรศัพท์แบบกดปุ่ม

เครื่องโทรศัพท์ที่มีหน้าปัดแบบกดปุ่ม และใช้กรรมวิธีของ Dual Tone Multi Frequency (DTMF) ในการส่งหมายเลขโทรศัพท์นั้น โดยทั่วไปจะมี 12 ปุ่ม แบ่งเป็น 4 แถว และ 3 คอลัมน์ ในโทรศัพท์บางรุ่นอาจมี 16 ปุ่ม โดยเพิ่มคอลัมน์ที่ 4 เข้ามา ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงตำแหน่งความถี่ของหมายเลขโทรศัพท์

ความถี่ที่ใช้ในแต่ละแถวและคอลัมน์นั้น จะมีความถี่ที่ต่างกัน ความถี่ทั้ง 4 แถว เรียกว่าเป็นกลุ่มความถี่ต่ำ และความถี่ทั้ง 4 คอลัมน์ เรียกว่าเป็นกลุ่มความถี่สูง การที่กดปุ่มหมายเลขใดๆ จะทำให้วงจรภายในผลิตความถี่ออกมา 2 ความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดีของการใช้โทรศัพท์แบบกดปุ่ม

1. สามารถลดเวลาในการหมุนหมายเลขโทรศัพท์ลงได้ ทำให้มีผลคือเวลาเฉลี่ยที่ใช้โทรศัพท์ลดลง ซึ่งทำให้ชุมสายโทรศัพท์สามารถรองรับ Traffic ได้มากขึ้น

2. สามารถใช้วงจรทาง Solid State Electronics แทนอุปกรณ์ทางด้าน Mechanics ทำให้ความรวดเร็วและแม่นยำในการส่งหมายเลข

3. สามารถเพิ่มปุ่มกดเพิ่มได้ เพื่อใช้ในการส่งสัญญาณบริการประเภทอื่นๆ

4. มีความเหมาะสมที่จะใช้กับชุมสายระบบ Stored Program Control

2.2 สัญญาณพื้นฐาน

สัญญาณ คือ ข่าวสารที่ใช้ติดต่อระหว่างเครื่องโทรศัพท์กับชุมสาย หรือข่าวสารที่ติดต่อกันระหว่างชุมสายกับชุมสาย

หน้าที่ทั่วๆไปของสัญญาณที่ใช้กับโทรศัพท์

1. การเตรียมพร้อม (Alerting)

2. การส่งที่อยู่ข่าวสาร (Transmitting Address Information)

3. การตรวจตรา (Supervising)

4. การส่งสัญญาณข่าวสาร (Transmitting Information Signalling)

1. สัญญาณระหว่างผู้เช่ากับชุมสาย (Subscriber Signalling)

1. สัญญาณที่ส่งจากผู้เช่ากับชุมสาย

1. ออฟ-ฮุค คือ สภาพผู้เช่ายกหู สายจะมีสภาพ Close Loop (Low Impedance)

2. ออน-ฮุค คือ สภาพผู้เช่าวางหู สายจะมีสภาพ Open Loop (High Impedance)

3. Dialing คือ สภาพที่ผู้เช่าหมุนเลขหมายเข้าเครื่องเป็น Rotary Dial สัญญาณจะไป Pulsing ค่า Impedance จะสูงต่ำสลับกันไปตามที่หมุนหมายเลข ถ้าเครื่องเป็นแบบกดปุ่ม สัญญาณจะออกเป็นความถี่ DTMF ไปยังชุมสาย

2. สัญญาณที่ส่งมาจากชุมสาย

1. Dialing Tone คือ สัญญาณที่บอกถึงสภาพการว่างของอุปกรณ์ชุมสาย และชุมสายพร้อมจะรับ Code ที่ทำการหมุน เข้ามา สัญญาณ Dialing Tone นี้เป็นสัญญาณต่อเนื่องความถี่ 25 Hz modulate ด้วยความถี่ 50 Hz ผู้เช่าจะได้ยินเมื่อทำการยกหูโทรศัพท์

2. Busy Tone คือ สัญญาณที่บอกให้ทราบว่าอุปกรณ์ชุมสายไม่ว่าง ถ้ายกหูแล้วได้ยินสัญญาณนี้แสดงว่าอุปกรณ์ในชุมสายไม่ว่าง และถ้าได้ยินเสียงนี้หลังจากหมุนหมายเลขไปแล้ว แสดงว่า ผู้เช่าฝ่ายถูกเรียกไม่ว่าง สัญญาณ Busy Tone เป็นสัญญาณความถี่ 425 Hz ดัง 0.5 วินาที สลับกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Ring Back Tone เป็นสัญญาณที่ผู้เรียกได้ยินหลังจากหมุนหมายเลขเสร็จแล้ว ที่ชุมสายโทรศัพท์แจ้งให้ทราบ การต่อได้สำเร็จแล้ว เป็นสัญญาณ 425 Hz โดยดัง 1 วินาที หยุด 4 วินาที

4. Ringing Tone เป็นสัญญาณความถี่ 25 Hz ค่าแรงดัน 70-10 V_{pp} โดยส่ง 1 วินาที หยุด 4 วินาที เป็นสัญญาณที่ส่งไปให้ผู้ถูกเรียกทราบ

5. สัญญาณ tone อื่นๆ เช่น Nu Tone เป็นสัญญาณที่บอกให้ทราบว่าเลขหมายที่หมุนยังไม่มีการใช้งาน

2. สัญญาณติดต่อระหว่างชุมสาย (Inter Exchange Signalling)

สัญญาณพื้นฐานมี 5 ประเภท

1. Seizure เป็นสัญญาณให้ชุมสายปลายทางทราบว่าคู่สายขณะนี้ถูกใช้งานอยู่ ชุมสายปลายทางจะทำการจัดเตรียมอุปกรณ์ที่รับเรียกหมายเลขของผู้เรียกที่จะส่งมา
2. Address Information เป็นสัญญาณบอกเลขหมาย หรือประเภทของผู้เช่า
3. Answer Signal เป็นสัญญาณที่ใช้เมื่อผู้ถูกเรียกยกหูรับ หน้าที่หลักของสัญญาณนี้คือ
    1. เริ่มต้นคิดเงิน
    2. ส่งสัญญาณคิดเงิน
    3. ตัดวงจรการจับเวลาการใช้อุปกรณ์
4. Clear – Forward จะถูกส่งเมื่อผู้เรียกวางหู ผลของสัญญาณนี้จะทำให้วงจรทางด้านปลายทางทำการยกเลิกการต่อวงจรต่างๆ
5. Clear – Back จะถูกส่งเมื่อผู้ถูกเรียกวางหู ผลของสัญญาณนี้จะทำให้ชุมสายต้นทางเริ่มต้นจับเวลา เมื่อเวลาผ่านไป 90-120 วินาที ชุมสายต้นทางจะยกเลิกการติดต่อ พร้อมกับส่งสัญญาณ Clear-Forward ออกไปเพื่อให้ชุมสายปลายทางยกเลิกเช่นกัน

2.3 ระบบการติดต่อกันระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับโทรศัพท์

แสดงระบบการติดต่อกันระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับ อธิบายได้ดังนี้

เครื่องส่ง

- ขณะที่ไม่ได้มีการยกหูโทรศัพท์ จะมีศักดาตกคร่อมสายโทรศัพท์เป็นสัญญาณกระแสตรง 48 โวลท์
- เมื่อผู้เรียกยกหูโทรศัพท์ศักดาจะลดลงเหลือประมาน 8 โวลท์ พร้อมทั้งมีสัญญาณ Dial Tone เมื่อกดรหัสสัญญาณความถี่หมายเลขโทรศัพท์แล้วสัญญาณ Dial Tone จะหายไป
- กดรหัสสัญญาณหมายเลขโทรศัพท์ รหัสสัญญาณตอบรับ 2 แบบเพื่อจะบอกว่าสายว่างหรือไม่ คือ Busy Tone และ Ring Back Tone
- เมื่อผู้ถูกเรียกรับสายแล้ว สัญญาณจะอยู่ที่ระดับสัญญาณกระแสตรง 8 โวลท์ และมีการกระเพื่อมตามลักษณะความถี่เสียง และความดังของสียงพูด
- เมื่อผู้เรียกวางหูโทรศัพท์ ขนาดศักดาตกคร่อมสายโทรศัพท์จะกลับไปที่ 48 โวลท์ดังเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องรับ

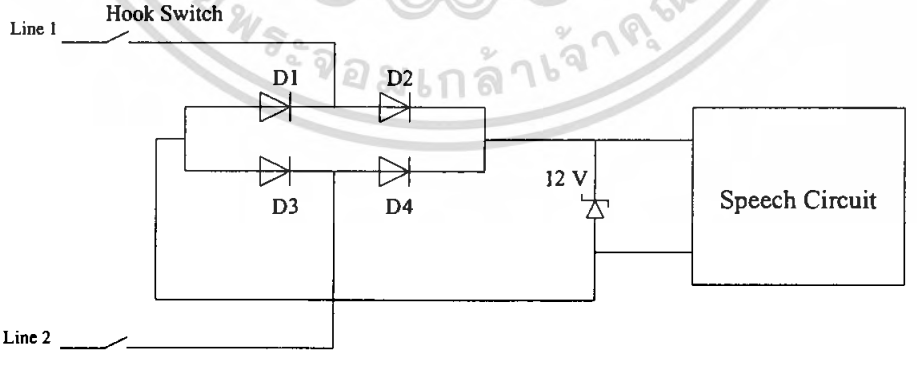
- ขณะที่ไม่ได้มีการยกหูโทรศัพท์ จะมีศักดาตกคร่อมสายโทรศัพท์เป็นสัญญาณกระแสตรง 48 โวลท์
- เมื่อมีผู้เรียก เรียกเข้ามาจะมีสัญญาณ Ringing Tone เข้ามา ซึ่งจะตรงกับสัญญาณ Ring Back Tone ของผู้เรียก
- เมื่อผู้เรียกยกหูรับโทรศัพท์ ขนาดของศักดาตกค่อมสายโทรศัพท์จะเหลือประมาน 8 โวลท์ และจะมีการกระเพื่อมตามลักษณะความถี่เสียงและความดังของเสียงพูด
- เมื่อผู้เรียกวางหูโทรศัพท์ขนาดศักดาตกคร่อมสายโทรศัพท์ จะกลับไปที่ 48 โวลท์ดังเดิม

2.4 วงจรในการป้องกันไฟจากสายโทรศัพท์ (Protection Circuit)

ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทั่วๆไป สัญญาณทรานเซียนส์ที่มีระดับแรงดันสูงๆ จะสามารถทำลายอุปกรณ์จำพวกทรานซิสเตอร์และไอซีต่างๆได้ ในปัจจุบันนี้เรายังสามารถผลิตไอซีต่างๆได้ ในปัจจุบันนี้เรายังไม่สามารถผลิตไอซีที่มีแรงดันพังทลาย (Voltage Breakdown) ค่าสูงได้ ทางป้องกันทางหนึ่งคือการเลือกใช้ซีเนอร์ไดโอดมาช่วยในการป้องกันสัญญาณทรานเซียนส์ค่าสูงๆ เมื่อระดับแรงดันอินพุททรานเซียนส์มีค่าสูงกว่าแรงดันพังทลายของซีเนอร์ไดโอด ซีเนอร์ไดโอดจะนำกระแสและรักษาแรงดันตกคร่อมตัวมันให้คงที่ สำหรับในวงจรใดที่มีการกลับขั้วของสัญญาณอินพุท ก็จะใช้ซีเนอร์ไดโอด 2 ตัวมาต่อแบบหลังชนหลัง (Back to Back)

ในการทำงานของวงจรโทรศัพท์ทั่วไป หากมีการกลับขั้วของสัญญาณอินพุทที่เป็นไฟตรง จะก่อให้วงจรทำงานผิดพลาดได้ จึงมีการใช้วงจรไดโอดบริดจ์เร็กติไฟร์เข้ามาช่วยในการทำให้สัญญาณไฟตรงมีขั้วเดิมตลอดเวลา

วงจรบริดจ์เร็กติไฟร์นั้นสามารถสร้างได้โดยการใช้ไดโอด 4 ตัวต่อกันตามรูปที่ 2.3 เนื่องจากซิลิกอนไดโอดสามารถทนต่อแรงดันสูงๆได้ดี จึงใช้ซีเนอร์ไดโอดป้องกันเฉพาะวงจรเสียงพูดเท่านั้น

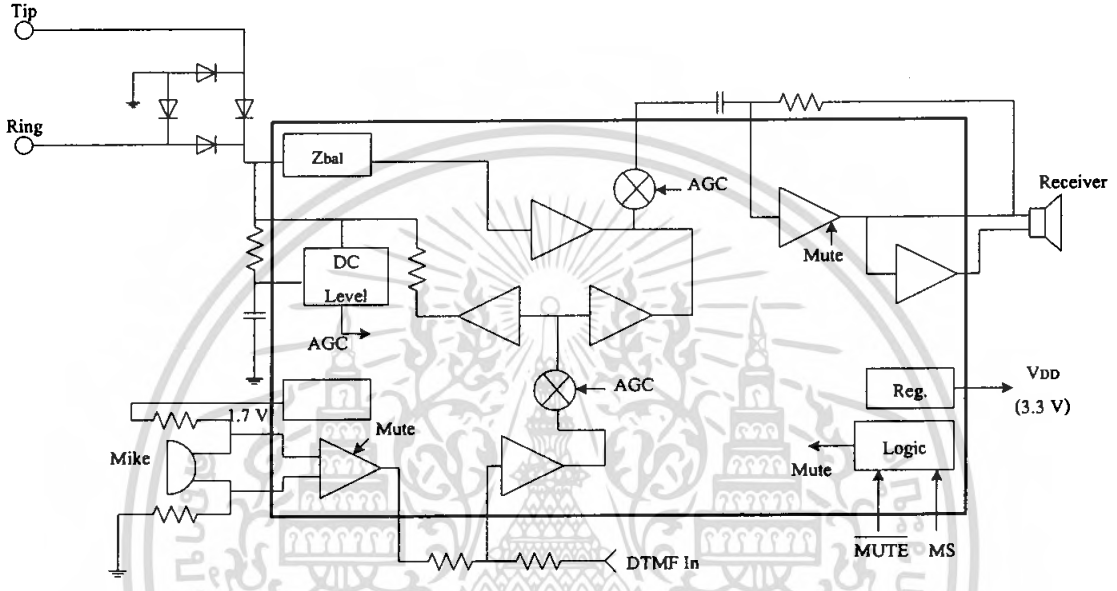


รูปที่ 2.3 แสดงรูปวงจรบริดจ์เร็กติไฟร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 วงจรควบคุมเสียงพูด MC34014

วงจรควบคุมเสียงพูดแบบสองทิศทาง (two way speech circuit) เป็นอีกส่วนหนึ่งภายในเครื่องโทรศัพท์ที่จัดว่ามีความสำคัญต่อการทำงานของตัวเครื่องโทรศัพท์ เพราะเป็นส่วนที่ทำงานเกี่ยวกับสัญญาณเสียงพูดที่เราพูดผ่านไมโครโฟน หรือสัญญาณเสียงที่จะได้ยินจากคู่สนทนา ข้อสำคัญของการออกแบบวงจรนี้ คือการแมตชิ่งอิมพีแดนซ์ของสายส่งสัญญาณจากชุมสายกับอิมพีแดนซ์ของวงจร ซึ่งจะต้องมีความใกล้เคียงกันมากที่สุดเพื่อประสิทธิภาพของการส่งสัญญาณ



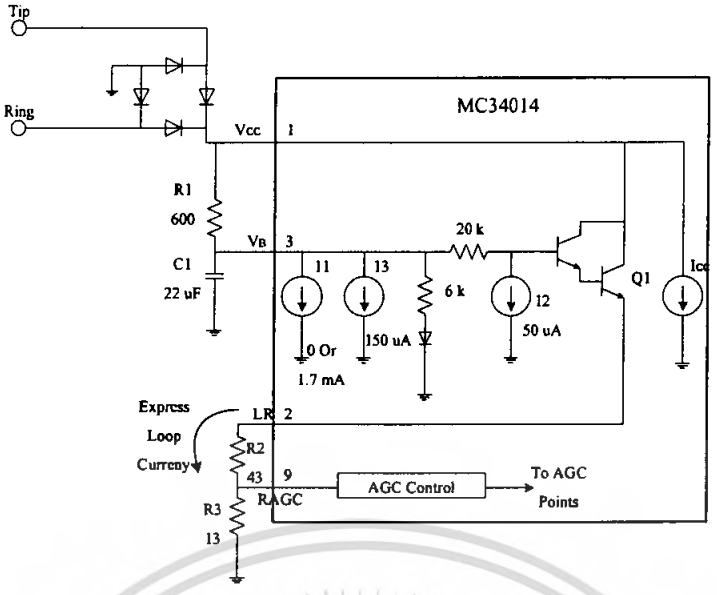
รูปที่ 2.4 แสดงบล็อกไดอะแกรมภายในของ MC34014

ไอซี MC34014 มีบล็อกไดอะแกรมแสดงดังรูปที่ 2.4 ประกอบด้วยวงจรควบคุมเสียงพูดที่มีวงจรไฮบริดจ์ วงจรเชื่อมต่อกระแสไฟตรงที่ต่ออยู่กับสายทิป(Tip)กับริง(Ring) สามารถปรับแต่งอัตราการขยายสัญญาณของด้านส่ง ด้านรับและไซด์โทน (Sidetone) การที่เสียงพูดของผู้พูดสามารถได้ยินในส่วนของหูฟัง เพื่อให้ทราบได้ว่าเราควรจะพูดดังค่อยแค่ไหนในการติดต่อกัน) มีส่วนของวงจรชดเชยผลอันเนื่องมาจากความยาวของสายส่งสัญญาณ ที่อัตราการขยายเปลี่ยนแปลงตามกระแสในลูป รวมทั้งวงจรขยายไมโครโฟนแบบผลต่าง เพื่อที่จะลดการรบกวนเนื่องจากความถี่วิทยุ

2.5.1 วงจรเชื่อมต่อกับไฟตรง

วงจรเชื่อมต่อกับไฟตรง (ขา 1,2,3) จะกำหนดคุณสมบัติของไฟตรงจากกระแสในลูปจากรูปที่ 2.5 ระดับแรงดันไฟตรงที่ V_{CC} ถูกจำกัดโดยการยกระดับแรงดันของขา 1 กับ ขา2 บวกกับแรงดันตกคร่อม R_2 และ R_3 ไอซี MC34013 ต้องการ I_{CC} เป็นกระแสไบอัสภายใน ซึ่งปกติมีค่าประมาณ 10 มิลลิแอมป์ เราสามารถที่จะลดกระแส I_{CC}หากจำเป็นโดยการเพิ่มค่า R_{12}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 วงจรสมมูลย์ของการอินเตอร์เฟสกับคู่สายโทรศัพท์

ในระหว่างการพูดและการส่งสัญญาณแบบพัลส์ ตัวกำเนิดกระแส I_1 ไม่ทำงาน การยกระดับแรงดันจะตกลงไป เนื่องมาจากขาเบสและขาอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ Q_1ประมาณ 1.4 โวลท์) 1 โวลท์ คร่อมความต้านทาน 20 k และแรงดันตกคร่อม R_1 ซึ่งทำให้ V_{CC} เปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 0.15 ไปจนถึงประมาณ 1.0 โวลท์ เมื่อกระแสลูปที่มาจากขั้วทิปกับริงมีค่าเกินกว่า I_{CC}กระแสที่เกินจะไหลผ่าน Q_1 , R_2, R_3 เพื่อให้เป็นไปตามคุณสมบัติของโวลท์-กระแส

ในการส่งสัญญาณแบบโทน แหล่งจ่ายกระแส I_1 ทำงาน ทำให้มีกระแสไหลผ่าน R_1 เพิ่มขึ้น 1.7 มิลลิแอมป์ ยกระดับแรงดันขึ้นอีกประมาณ 1.0 โวลท์ (เมื่อ R_1 มีค่า 600 โอห์ม) คุณสมบัติพิเศษนี้เป็นการประกันได้ว่าเมื่อกระแสลูปมีค่าน้อย จะมีแรงดันที่ V_{CC} มากพอสำหรับสัญญาณดีทีเอ็มเอฟ และแหล่งจ่ายไฟ V_{DD} จะสามารถจ่ายแรงดันที่พอเพียงไปให้ส่วนเป็นกดสัญญาณภายนอก กระแส I_{CC} ในการทำงานแบบนี้จะเพิ่มขึ้นไปประมาณ 1.3 มิลลิแอมป์

ความต้านทาน R_1ใช้ได้ตั้งแต่ 100 ไปจนถึง 1800 โอห์ม ถ้าใช้ค่าที่มากเกินไป กระแสที่ไหลไปยัง V_Bจะมีค่าไม่เพียงพอ แต่ถ้ามีค่าน้อยเกินไป การกรองที่ V_B จะไม่เป็นผล ถึงแม้ว่าจะมีการเพิ่มค่า C_1 ก็ตาม (สัญญาณเสียงพูดจะถูกกรองโดย V_B)

แรงดันตกคร่อม R_3 เป็นตัวควบคุมการทำงานของวงจรควบคุมเกนอัตโนมัติ (AGC) ซึ่งเป็นส่วนชดเชยผลอันเนื่องมาจากความยาวของสายส่งสัญญาณ เมื่อแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทาน RAGC เพิ่มขึ้นประมาณ 0.4 โวลท์ไปเป็น 1.2 โวลท์ ส่วนควบคุมการทำงานของวงจรควบคุมแกนอัตโนมัติ จะเปลี่ยนแปลงอัตราการขยายกระแสของวงจรควบคุมแกนอัตโนมัติตั้งแต่ 1.0 ไปจนถึง 0.5 (ซึ่งจะลดอัตราการขยายของส่วนรับและส่งไปประมาณ 6 dB)

ค่าของ R_2 และ R_3 สามารถที่จะเปลี่ยนแปลงได้ เมื่อมีการเพิ่มเติมวงจรที่ใช้กระแสจากลูป อาทิ เช่น ไมโครโปรเซสเซอร์ต่างๆ หรือเพื่อเปลี่ยนแปลงจุดเริ่มต้นการทำงานของวงจรควบคุมเกนอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าหากจะไม่ใช้งานวงจรควบคุมเกนอัตโนมัติ ควรจะต่อขา 9 เข้ากับกราวด์ เพื่อให้ได้อัตราการขยายที่สูงสุด หรือต่อเข้ากับ V_R เพื่ออัตราการขยายต่ำสุด

2.5.2 วงจรขยายสัญญาณจากไมโครโฟน

วงจรขยายสัญญาณจากไมโครโฟน (ขา 6,7,8) มีสัญญาณเข้าแบบผลต่าง สัญญาณออกแบบซิงเกิลเอนด์ และอัตราขยายภายในคงที่ +30 dB (3:1 โวลท์/โวลท์) เอาท์พุทตรงกันกับเฟสของ MC2 และกลับเฟสกันกับ MC1 อินพุทมีความต้านทาน 20 กิโลโอห์ม และแมตชิ่งเป็นอย่างดีเพื่อซีเอ็มอาร์อาร์ (CMRR : Common Mode Rejection Ratio) ที่สูง (ประมาณ 26 dB) เพื่อที่จะมีการขจัดสัญญาณจากการเหนี่ยวนำจากสายนำสัญญาณที่ไม่ต้องการ (ซีเอ็มอาร์อาร์มีค่าสูง) ไมโครโฟนจึงมีการไบอัสจากความต้านทานที่มีค่าเท่ากัน

เอาท์พุท (MCO) มีแรงดันไบอัสตรงอยู่ประมาณ 1.1 โวลท์ (เมื่อ V_{CC} มีค่ามากกว่า 3.0 โวลท์) มีอัตราการแกว่งประมาณ 2.0 โวลท์ (แกว่ง 500 มิลลิโวลท์ เมื่อ V_{CC} มีค่า 1.2 โวลท์) เอาท์พุทอิมพีแดนซ์มีค่าประมาณ 270 โอห์ม และมีกระแสสูงสุดประมาณ 160 ไมโครแอมป์ ที่ 5 เปอร์เซ็นต์ของค่าทีเอชดี (THD : Total Harmonic Distortion)

เมื่อ MC34014 อยู่ในระหว่างการส่งสัญญาณหมุน วงจรขยายไมโครโฟนจะถูกลดกำลังการส่งลงไปประมาณ 70 dB (300-4000 Hz) ซึ่งเพียงพอในการหยุดการทำงานของไมโครโฟน ระดับแรงดันไฟตรงที่ MCO มีค่าประมาณ 80 มิลลิโวลท์เมื่อถูกลดกำลังส่งลง

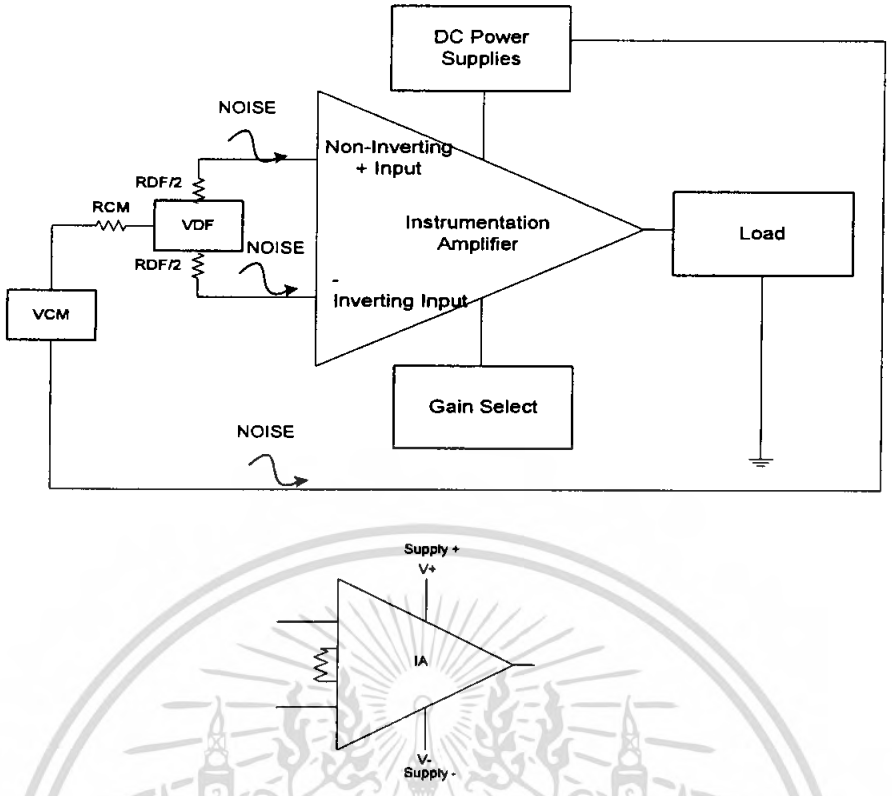
2.6 วงจรขยายอินสทรูเมนท์

วงจรขยายอินสทรูเมนท์(Instrument Amplifier) หรือที่รู้กันอีกชื่อหนึ่งว่า " อินสทรูเมนท์แอมป์ " เป็นวงจรขยายสัญญาณชนิดหนึ่งที่นิยมไปประยุกต์ใช้ในงานอย่างแพร่หลายในงานด้านต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง งานทางด้านการประมวลผลสัญญาณแอนาลอก เช่น งานทางด้านระบบการสื่อสาร งานทางด้านระบบการวัดและควบคุม เป็นต้น เนื่องจากวงจรขยายอินสทรูเมนท์ใช้งานง่าย รวมทั้งยังมีความสามารถในการกำจัดสัญญาณคอมมอนโหมดได้เป็นอย่างดี จึงนับได้ว่าวงจรขยายอินสทรูเมนท์เป็นอุปกรณ์ประเภทแอคทีฟ (Active Device) ที่เข้ามามีบทบาทสำคัญและมีประโยชน์เป็นอย่างมากในงานต่างๆ

2.6.1 ความหมายของวงจรอินสทรูเมนท์

โดยทั่วๆไปเราอาจจะกล่าวได้ว่าวงจรขยายอินสทรูเมนท์ คือ วงจรขยายสัญญาณผลต่างที่มีความแม่นยำและถูกต้องสูงเมื่อเทียบกับวงจรขยายโดยทั่วไปจึงมักมีการนำไปใช้งานกันอย่างแพร่หลายในงานที่ต้องการความถูกต้องมากซึ่งสามารถเขียนไดอะแกรมการใช้งานและสัญลักษณ์โดยทั่วไปของวงจรขยายอินสทรูเมนท์ได้ดังรูปที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แสดงไดอะแกรมการใช้งานและสัญลักษณ์ทั่วไปของวงจรขยายอินสทรูเมนท์

การใช้งานปกติทั่วไปวงจรขยายอินสทรูเมนท์จะทำการตรวจวัดสัญญาณเฉพาะสัญญาณที่ได้จากสัญญาณแรงดันหรือกระแสผลต่างที่เกิดขึ้นระหว่างอินพุทของวงจรและสัญญาณคอมมอนโหมดเท่านั้น โดยจะทำการแยกสัญญาณรบกวน (Noise) ที่อาจเกิดจากเส้นสัญญาณกราวด์ (Ground Signal) หรืออาจเป็นสัญญาณที่เกิดจากแหล่งจ่ายไฟของวงจรขยายสัญญาณอินสทรูเมนท์เอง ไม่ให้ผ่านเข้าไปยังสู่ภาคขยายสัญญาณของวงจรขยายสัญญาณอินสทรูเมนท์

สำหรับการปรับค่าอัตราการขยายสัญญาณของวงจรขยายสัญญาณอินสทรูเมนท์โดยทั่วไปสามารถปรับได้โดยการเปลี่ยนค่าความต้านทานภายนอก (Gain Resistance : R_G) และใช้สมการที่ได้จากข้อมูลที่มาจากผู้ผลิตวงจรขยายอินสทรูเมนท์ในการคำนวณหาค่าอัตราการขยายสัญญาณผลต่างของวงจร

คุณสมบัติที่สำคัญประการหนึ่งของวงจรขยายสัญญาณอินสทรูเมนท์ที่ทางผู้ผลิตมักบอกมาให้กับผู้ใช้งานคือ ค่าอัตราการลดสัญญาณชนิดคอมมอนโหมด ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างสัญญาณเอาท์พุทที่เปลี่ยนแปลงต่อสัญญาณอินพุทแบบคอมมอนโหมด หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคืออัตราการลดทอนสัญญาณชนิดคอมมอนโหมดเพื่อส่งผ่านไปยังเอาท์พุท ยกตัวอย่างเช่น วงจรขยายอินสทรูเมนท์วงจรหนึ่ง มีค่าอัตราการขยายสัญญาณคอมมอนโหมดเท่ากับ 1/1000 และมีค่าสัญญาณอินพุทคอมมอนโหมดเท่ากับ 10 โวลต์ แสดงว่าสัญญาณที่ออกจากเอาท์พุทของวงจรจริงจะมีค่าเท่ากับ 10 มิลลิโวลต์ (mV) โดยทั่วไปค่าอัตราการขยายสัญญาณคอมมอนโหมดควรมีค่าน้อยๆเพื่อทำให้วงจรขยายที่ใช้งานไม่ขยายสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าอัตราการลดสัญญาณชนิดคอมมอนโหมด โดยทั่วไปมักแทนด้วยค่าสัญญาณแรงดันคอมมอนโหมดที่เกิดขึ้นที่อินพุท (Common-Mode Voltage, V_{CM}) ที่เปลี่ยนไปตามความถี่ของสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเทอมของ CMV จะถูกแทนด้วยเทอมลอกการิทึม (Logarithmic) แสดงความสัมพันธ์เป็นไปตามสามการที่...

$$V_{CM} = 20\log_{10}(CMRR) \qquad (2.1)$$

ยกตัวอย่างเช่นวงจรขยาย วงจรหนึ่งมีค่า CMRR ของวงจรเท่ากับ 100 จะเห็นได้ว่าค่า $V_{CM} = 20\log_{10}(100)$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 40 dB

สุดท้ายเรื่องเกี่ยวกับแหล่งจ่ายไฟเนื่องจากเป็นที่ทราบกันดีว่าอุปกรณ์ประเภทแอกทีฟจำเป็นต้องใช้แหล่งจ่ายไฟเพื่อจะสามารถนำไปใช้งานได้ ซึ่งวงจรขยายสัญญาณอินสทรูเมนท์ก็นับว่าเป็นอุปกรณ์ประเภทแอกทีฟ จึงมีความจำเป็นต้องใช้งานแหล่งจ่ายเช่นกัน โดยทั่วไปที่พบเห็นวงจรขยายอินสทรูเมนท์ส่วนใหญ่มักใช้แหล่งจ่ายไฟบวกและลบ เพื่อให้ย่านการปฏิบัติการทางขนาดที่กว้าง

2.7 คุณสมบัติโดยทั่วไปของวงจรขยายอินสทรูเมนท์

การนำวงจรขยายอินสทรูเมนท์ไปใช้งาน โดยทั่วไปผู้นำไปใช้งานจำเป็นต้องคำนึงถึงค่าต่างๆที่ทางผู้ผลิตให้มาในเอกสารประกอบการใช้งาน (Data Sheet) เพื่อให้ผู้นำไปใช้งานสามารถเลือกวงจรขยายสัญญาณอินสทรูเมนท์ให้ตรงกับงานที่นำไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างถูกต้องซึ่งคุณสมบัติที่สำคัญที่ต้องคำนึงถึงเมื่อต้องการนำวงจรขยายสัญญาณอินสทรูเมนท์ไปใช้งานมีค่าดังต่อไปนี้

2.7.1 อัตราขยาย (Gain)

ค่าอัตราขยายสัญญาณของวงจรขยายอินสทรูเมนท์โดยทั่วไปทางผู้ผลิตมักให้สมการความสัมพันธ์ระหว่างอินพุทกับเอาท์พุทในรูปแบบของสมการการถ่ายโอนสัญญาณของวงจร (Transfer Function) มาให้ ยกตัวอย่างเช่น

วงจรขยายอินสทรูเมนท์เบอร์ AD620 ของบริษัท Analog Device มีค่าอัตราการขยายเป็น

$$\text{Gain} = \frac{49{,}400\Omega}{R_G} + 1 \qquad (2.2)$$

เมื่อทำการเลือกค่า R_G จะทำให้ค่าอัตราการขยายของวงจรเปลี่ยนไปดังตัวอย่าง $\text{Gain} = 1, R_G = \infty$, $\text{Gain} = 9.998$, $R_G = 5.49\,\text{k}\Omega$ เป็นต้น

2.7.2 ช่วงของอัตราขยาย (Gain Range)

ช่วงของอัตราการขยายที่พบเห็นโดยปกติทั่วไปจะมีช่วงตั้งแต่ 1-1,000 หรือ 1-10,000 และไม่ได้มีข้อกำหนดตายตัวมากนักในการนำไปใช้งานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.3. ความผิดพลาดของอัตราขยาย (Gain Error)

ค่าความผิดพลาดของอัตราการขยายโดยทั่วไปจะมีการระบุเพื่อบอกให้ทราบว่าค่าอัตราการขยายที่คำนวณได้จากสมการที่ผู้ผลิตให้มาเมื่อนำไปใช้งานจริงจะมีค่าความผิดพลาดเป็นเท่าไร ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากหลายสาเหตุ เช่น ความไม่เป็นเชิงเส้นของวงจรขยายอินสทรูเมนท์ โดยทั่วไปจะบอกอยู่ในรูปของค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเมื่อเทียบกับค่าอัตราการขยายในอุดมคติ ตัวอย่างเช่น เบอร์ AD620 ของบริษัท Analog Device มีค่าผิดพลาดของอัตราการขยาย 0.10% เมื่ออัตราขยายของวงจรเท่ากับ 1

2.7.4 แรงดันออฟเซต (Offset Voltage)

ค่าของแรงดันออฟเซตของวงจรขยายอินสทรูเมนท์ควรมีค่าของแรงดันออฟเซตต่ำ เนื่องจากวงจรขยายอินสทรูเมนท์ มีส่วนที่มีความเป็นอิสระซึ่งกันและกัน แบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนวงจรอินพุท และส่วนเอาท์พุทของวงจรขยาย โดยค่าของแรงดันออฟเซตของวงจรมีค่าเท่ากับผลรวมของออฟเซตที่เกิดขึ้นที่อินพุทรวมกับค่าออฟเซตที่เกิดขึ้นที่เอาท์พุททั่วไปค่าออฟเซตของวงจรที่เกิดขึ้นมีสาเหตุเนื่องมาจาก การนำไปใช้งานในสภาวะแวดล้อมที่อุณหภูมิมีค่าเปลี่ยนแปลงไป โดยทั่วไปวงจรอินสทรูเมนท์แอมป์จะมีส่วนที่ใช้ในการต่อตัวต้านทานภายนอกในการปรับแต่งลดค่าแรงดันออฟเซตที่เกิดขึ้น ตัวอย่างเช่นเบอร์ AD620 ของบริษัท Analog Device มีค่าของแรงดันออฟเซตประมาน 30 μv

2.7.5 ค่าความไม่เป็นเชิงเส้น (Non linearity)

โดยทั่วไปค่าแรงดันออฟเซตและค่าผิดพลาดอื่นสามารถทำการปรับลดค่าหรือชดเชยได้ โดยใช้การปรับแก้โดยวงจรภายในได้ แต่ความไม่เป็นเชิงเส้นของวงจรไม่สามารถแก้ไขได้ เนื่องจากเกิดจากคุณสมบัติเฉพาะตัวของวงจรขยายอินสทรูเมนท์เบอร์นั้นๆ ซึ่งความไม่เป็นเชิงเส้นจะมีผลทำให้ค่าแรงดันที่เกิดขึ้นที่เอาท์พุทมีค่าที่ผิดพลาดไป โดยทั่วไปค่านี้จะอยู่ในรูปของค่าเอาท์พุทที่วัดได้จริงเทียบกับค่าเอาท์พุทที่ได้จากการคำนวณเป็นไปดังสมการ

$$\text{Nonlinearity} = \frac{Actualoutput - Calculateoutput}{RatedFullScaleoutput} \qquad (2.3)$$

เมื่อ Actual output คือค่าแรงดันเอาท์พุทที่วัดได้จริงจากวงจร

Calculate output คือค่าแรงดันเอาท์พุทที่วัดได้จากการคำนวณวงจร

Rated Full Sale output คือค่าแรงดันเอาท์พุทสูงสุดที่จ่ายได้จริงของวงจร

ค่าของความไม่เป็นเชิงเส้นของวงจรขยายอินสทรูเมนท์ทั่วไปมีค่า 0.01% และมีค่า 0.001% สำหรับวงจรขยายอินสทรูเมนท์ที่มีคุณภาพสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.6 อัตราการลดสัญญาณชนิดคอมมอนโหมดทั้งในกระแสสลับและกระแสตรง (AC and DC CMRR)

อัตราการลดสัญญาณชนิดคอมมอนโหมดจะบอกถึงความสามารถในการกำจัดสัญญาณกวนของวงจรขยายอินสทรูเมนท์โดยทั่วไปจะมีค่าตั้งแต่ 60 dB ไปจนถึงกระทั่ง 120 dB โดยทั่วไปมักจะมีค่ามากตลอดย่านความถี่ที่สามารถใช้งานได้ และมีความสามารถในการกำจัดสัญญาณกวนที่มาจากไฟฟ้าที่ใช้งานตามบ้าน (ในเมืองไทยคือสัญญาณความถี่ 50 Hz) รวมทั้งสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนฮาร์โมนิคอันดับที่ 2 (2^{nd} Harmonic) ได้

2.7.7 ความต้านทานอินพุท(Input Impedance)

ค่าของความต้านทานของขาอินพุท ไม่ว่าจะเป็นขาขยายสัญญาณแบบกลับเฟส (Inverting) และไม่มีการกลับเฟส (Non-Inverting) สำหรับอินสทรูเมนท์แอมป์ ทั่วไปมีค่าสูงมากซึ่งมีค่าประมาณ 10^9-10^{12} Ω

2.7.8 ย่านการทำงาน (Adequate Bandwidth)

ย่านการทำงานจะบอกถึงช่วงการปฏิบัติงานของวงจรขยายอินสทรูเมนท์ คุณสมบัติทั่วไปควรมีย่านการทำงานที่กว้างเพื่อจะให้วงจรมีความสามารถนำไปใช้ในการขยายสัญญาณที่วัดได้ย่านความถี่ที่กว้าง ตัวอย่างเช่น วงจรมีอัตราการขยายเป็น 1 มีช่วงการทำงานตั้งแต่ 500 kHz – 4 MHz หมายความว่า วงจรที่ทำการออกแบบมีย่านการทำงาน คือ ประมาณ 3.5 MHz

2.7.9 ค่าความต้องการแหล่งจ่ายไฟ (Quiescent Supply)

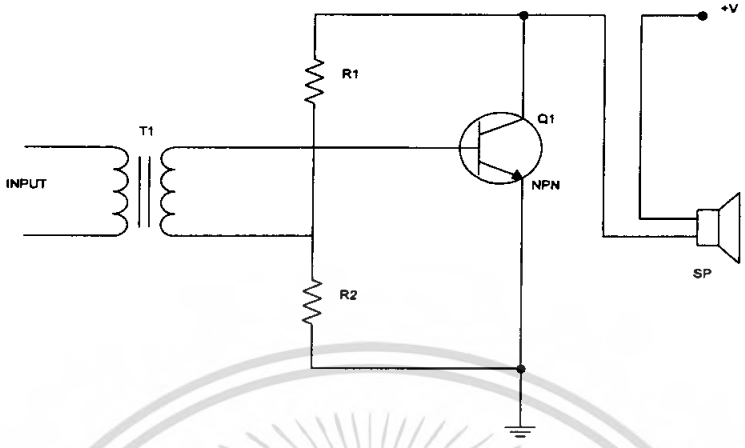
เป็นค่าที่บอกถึงความต้องการกระแสไฟและแรงดันในขณะทำงานของวงจรขยายอินสทรูเมนท์ โดยจะเห็นว่า ถ้าวงจรมีความต้องการไฟฟ้าต่ำ ค่าของกระแสและแรงดันที่ใช้จะมีค่าต่ำตามไปด้วย ทำให้สามารถนำไปสร้างอุปกรณ์แบบพกพาได้ ตัวอย่างเช่น เบอร์ INA113 ของบริษัท Burr – Brown ซึ่งเป็นแบบไบโพลาร์ มีความต้องการกำลังไฟฟ้าประมาณ 135 mW เบอร์ INA110 ของบริษัท Burr – Brown ซึ่งเป็นแบบเฟตมีความต้องการกำลังไฟฟ้าประมาณ 135 μ W

2.8 วงจรออดิโอแอมป์

วงจรออดิโอเพาเวอร์แอมป์(Audio Amplifier) หรือวงจรขยายสัญญาณเสียง ซึ่งวงจรนี้ก็จะประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ที่สามารถจะทำการเปลี่ยนระดับสัญญาณที่มีแรงปานกลางให้มีระดับความแรงมากขึ้น ซึ่งสัญญาณดังกล่าวนี้ได้มาจากวงจรปรีแอมป์(Pre-Amp)ระบบของการขับกำลังจะเป็นระบบขับกำลังวงจร AC ที่มีอิมพีแดนซ์ปานกลางออกไปยังวงจรที่มีระดับอิมพีแดนซ์ต่ำๆ ซึ่งนั่นก็คือลำโพงที่ต่ออยู่ตรงจุดที่เรียกว่าเอาท์พุทการออกแบบวงจรเครื่องขยายเสียงที่ดีต้องคำนึงถึงสัญญาณที่ออกไปจะต้องไม่ผิดเพี้ยน วงจรเครื่องขยายเสียงโดยทั่วไป อาจจะมีทรานซิสเตอร์มากกว่า 1 ตัวก็ได้ในทางด้านเอาท์พุทโดยทรานซิสเตอร์ที่เรียกว่า Power Amplifier Circuit “เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์” ระบบของเพาเวอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทรานซิสเตอร์ หรือวงจรทางด้านเอาท์พุทออกเป็น 3 อย่างหลักๆคือ วงจรขยายคลาสเอ (CLASS A) วงจรขยายคลาสบี (CLASS B) และวงจรขยายคลาสเอบี (CLASS AB)



รูปที่ 2.7 วงจรขยายคลาส A

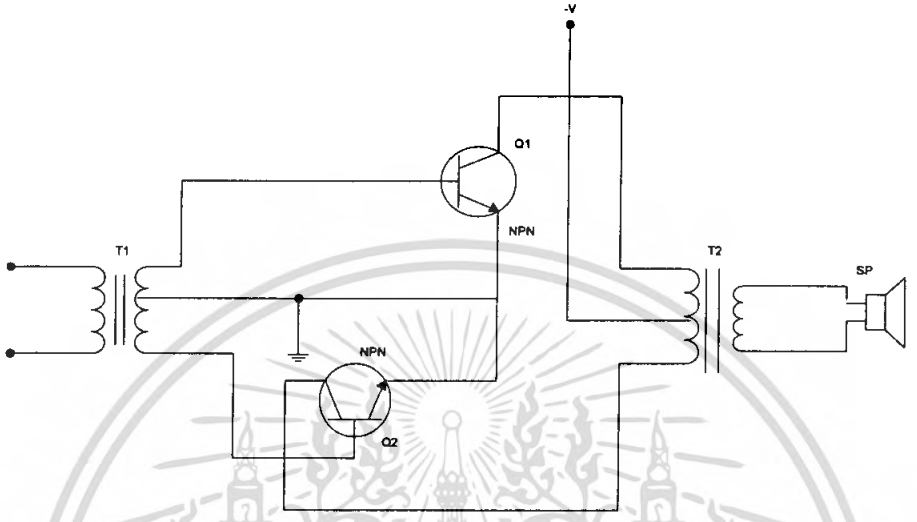
พิจารณาวงจรรูปที่ 2.7 ซึ่งเป็นการแสดงถึงวงจรขยายคลาสAวงจรเดี่ยวหรือที่เรียกว่า ซิงเกิ้ลบีเจที (SINGLE BJT) ซึ่งเป็นวงจรขยายคลาส A คอมมอนอิมิเตอร์ที่เราได้ต่อวงจรเอาท์พุทหรอลำโพงไว้ที่ขาคอลเล็กเตอร์ เพื่อจะให้ลำโพงเป็นโหลดให้กับวงจร วงจรขยายคลาส A สามารถทำงานด้วยสัญญาณที่ส่งมาทางด้านอินพุท

จากรูปที่ 2.7 ได้แสดงถึงการทำงานของทรานซิสเตอร์ Q_1 ว่าจะต้องทำงานด้วยกระแสสงบหรือต้องมีกระแสสงบเพื่อจะให้ไบอัสเป็น 0 หรือการคัทออฟ(Cut Off)วงจร ดังนั้นการออกแบบวงจรเพื่อให้กระแสของโหลดหรือลำโพงอยู่ในสภาวะที่ไม่เป็นการทำลายลำโพงค่อนข้างที่จะลำบาก ถ้าลำโพงนั้นมี AC และ DC เราจะต้องคำนึงถึงอิมพิแดนซ์ของลำโพง เพื่อให้เกิดกระแสสงบที่สอดคล้องกันกับการทำงานของภาคจ่ายไฟ

วงจรขยายที่เป็นคลาส A จะให้สัญญาณทางออกที่มีความผิดเพี้ยนน้อยมาก แต่อย่างไรก็ดีจากการทำงานของทรานซิสเตอร์ Q_1 ในสถานการณ์อย่างนี้ เมื่อทรานซิสเตอร์ทำการขับกระแสอย่างต่อเนื่อง ย่อมทำให้ประสิทธิภาพของวงจรลดลง ดังนั้นเพื่อจะยังคงสภาวะของของประสิทธิภาพอันนี้ไว้วงจรเครื่องขยายเสียงที่เป็นคลาสA จะต้องออกแบบให้ทรานซิสเตอร์ทำงานได้ไม่เกิน 40% ของความสามารถของทรานซิสเตอร์ ถ้าหากว่าเราจะเพิ่มประสิทธิภาพขึ้นมาเป็น 50% จะเป็นสภาวะสูงสุดของทรานซิสเตอร์ประสิทธิภาพจะตกลงมา 4% ความผิดเพี้ยนสำหรับระบบนี้ก็จะเกิดขึ้น วงจรขยายคลาส B (CLASS B AMPLIFIER) ซึ่งได้แสดงไว้แล้วในรูปที่ 2.8 เราจะนำเอาทรานซิสเตอร์ที่เป็นระบบ BJT Q_1 และ Q_2 ที่ทำงานกลับเฟสกันอยู่ 180 โดยทรานซิสเตอร์ดังกล่าวนั้นถูกออกแบบเป็นวงจรคอมม่อนอิมิตเตอร์ขับออกลำโพงในระบบพุชพูล โดยใช้หม้อแปลง T_2 และแยกไฟสัญญาณด้วยหม้อแปลง T_1 เพื่อทำให้อินพุทของทรานซิสเตอร์ Q_1 และทรานซิสเตอร์ Q_2 กลับเฟสสัญญาณกันอยู่ 180 เราจะจ่ายไฟจากแหล่งจ่ายไฟเข้าไปยังจุดกึ่งกลางของหม้อแปลงT_2ซึ่งเป็นหม้อแปลงความถี่เสียง(AUDIOPUSHPULL TRANSFORMER)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อจ่ายไฟเข้าไปยังขา C ของทรานซิสเตอร์ Q_1 และขา C ของทรานซิสเตอร์ Q_2 โดยทรานซิสเตอร์ทั้ง 2 ตัวนี้ขา E จะต้องลงกราวด์ สัญญาณเข้าที่อินพุทโดยมีหม้อแปลง T_1 ทำหน้าที่คัปปลิ้งสัญญาณเสียงถูกเหนี่ยวนำออกมาทางด้านหน้าหม้อแปลงทางด้านนอก (SECONDARY) ส่งสัญญาณเข้าไปยังขา B ของทรานซิสเตอร์ Q_1 และทรานซิสเตอร์ Q_2 แต่เนื่องจากว่าทรานซิสเตอร์ที่เป็น บีเจที(BJT)



รูปที่ 2.8 วงจรเพาเวอร์แอมป์คลาสบี

กล่าวคือยังไม่มีไบอัสในขั้นต้น เมื่อสัญญาณเข้ามายังขา B จึงทำให้ทรานซิสเตอร์ 2 ตัวนี้เริ่มต้นทำงาน มีการนำกระแสหรือขยายสัญญาณออกไปส่งออกไปให้กับทรานส์ฟอร์เมอร์T_2ซึ่งทำหน้าที่เป็นโหลดให้กับทรานซิสเตอร์ทั้ง 2 ตัวได้ สัญญาณเสียงที่ได้รับการขยายแล้วจึงสามารถส่งออกไปยังลำโพง ถ้าสัญญาณเสียงที่ส่งผ่านทรานส์ฟอร์เมอร์ T_1 เข้ามาทางด้านขดลวดขาเข้า (PRIMARY) ถูกเหนี่ยวนำเข้าสู่ขดลวดขาออก (SECONDARY) ออกไปยังขา B ของตัวทรานซิสเตอร์ Q_1 เป็นสัญญาณเสียงเฟสบวก และย่อมที่จะเหนี่ยวนำส่งไปให้กับขา B ของทรานซิสเตอร์ Q_2เป็นสัญญาณเสียงเฟส เนื่องจากทรานซิสเตอร์ที่นำมาใช้งานเป็นทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ไบอัสขา B เมื่อเทียบกับขา E หรือเทียบไฟลงกราวด์จะต้องมีไบอัสเป็นบวกออกมา จังหวะนี้จึงทำให้ทรานซิสเตอร์ Q_1 เป็นตัวนำกระแสขับสัญญาณออกไปยังลำโพง และถ้าหากความถี่ของสัญญาณเสียงกลับเฟสเป็นเฟสตรงข้าม ย่อมทำให้ทรานซิสเตอร์ Q_1 ได้รับสัญญาณเสียงเป็นสัญญาณเสียงเฟสลบ และทรานซิสเตอร์ Q_2 ได้รับสัญญาณเสียงเป็นสัญญาณเสียงเฟสบวก กรณีเช่นนี้ย่อมที่จะทำให้ทรานซิสเตอร์ Q_2 สามารถทำงานได้ขับสัญญาณส่งออกไปผ่านทรานส์ฟอร์เมอร์ T_2 ออกลำโพงได้ในที่สุด การทำงานของทรานซิสเตอร์ทั้ง 2 ตัวนี้จะสลับกันไปมาคือสัญญาณคลื่นทางบวกกับสัญญาณคลื่นทางลบจากสัญญาณที่จะถูกส่งเข้าไปยังขาBของทรานซิสเตอร์ทั้ง 2 ตัวนี้ จะต้องขับสัญญาณตั้งแต่จุดที่เรียกว่า ซีโรครอสซิ่ง (ZERO CROSSING VOLTAGE) และสัญญาณที่จะส่งเข้ามาจะต้องมีความแรงของสัญญาณไม่น้อยกว่า 600 mV จึงจะทำให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์สามารถทำงานได้ ระบบดังกล่าวนี้ถ้าพิจารณาจากรูปภาพ เราจะพบว่าค่าของการถ่ายทอดสัญญาณทางไดนามิค (DYNAMIC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

TRANSFER) จะลดค่าลงมา ซึ่งเราเรียกความผิดเพี้ยนนี้ว่า ความผิดเพี้ยนครอสโอเวอร์ (CROSSOVER DISTORTION)

2.9 ทฤษฎีการแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นดิจิตอล

สัญญาณที่ใช้ในอุปกรณ์อิเลคทรอนิคส์ มี 2 ชนิด คือ สัญญาณแอนาลอก และสัญญาณดิจิตอล สัญญาณแอนาลอกจะใช้ในอุปกรณ์ทั่วๆไปและใช้ในการควบคุมแบบเก่า

ในปัจจุบันมีไมโครโปรเซสเซอร์ และไมโครคอนโทรลเลอร์ เข้ามาช่วยในการควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ มากมาย ซึ่งทำให้การควบคุมนั้นทำได้ง่าย และรวดเร็วยิ่งขึ้น แต่ในการควบคุมนั้น เราจำเป็นต้องใช้สัญญาณดิจิตอลในการติดต่อกับไมโครโปรเซสเซอร์ หรือไมโครคอนโทรลเลอร์ แต่ในความเป็นจริงนั้น เราใช้สัญญาณแอนาลอกในการควบคุม ดังนั้นเราจึงจำเป็น ต้องมีการเปลี่ยนสัญญาณแอนาลอก เป็นสัญญาณดิจิตอล แล้วจึงนำสัญญาณนั้นเข้ามาสู่ไมโครโปรเซสเซอร์ หรือไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อใช้ควบคุมระบบต่อไป

แม้ว่าสัญญาณแอนาลอกนั้นมีความแน่นอน และแม่นยำสูง แต่สัญญาณแอนาลอกนั้นก็ควบคุมได้ยาก เนื่องจากในสภาพแวดล้อม มีสัญญาณรบกวนอยู่มาก และการที่จะทำให้ การควบคุมแบบแอนาลอกมีความสามารถควบคุม เท่ากับการควบคุมแบบดิจิตอลนั้น ทำได้ยาก เนื่องจากวงจรควบคุมแบบ แอนาลอกจะต้องมีความซับซ้อนสูง

อย่างไรก็ตาม สัญญาณดิจิตอลก็ไม่สามารถทดแทนความละเอียดของสัญญาณแอนาลอกได้อย่างสมบูรณ์ แต่ทำให้การควบคุมนั้นทำให้ง่าย และสะดวกยิ่งขึ้น

ในการสื่อสารรับส่งข้อมูลนั้น สัญญาณของข้อมูลนั้นอาจจะแตกต่างกันไปโดยอาจจะเป็นสัญญาณดิจิตอลหรือสัญญาณแอนาลอก ซึ่งทำให้ก่อนที่จะทำการส่งข้อมูลนั้น จะต้องมีการแปลงสัญญาณข้อมูลเดิมให้ไปอยู่ในรูปแบบสัญญาณที่ต้องการ ซึ่งการแปลงสัญญาณนั้นสามารถสรุปได้เป็น 4 วิธีคือ

1. การแปลง Digital data to Digital signals
2. การแปลง Analog data to Digital signals
3. การแปลง Digital data to Analog signals
4. การแปลง Analog data to Analog signals

แต่ในที่นี้เราจะกล่าวถึงเฉพาะการแปลงสัญญาณ Analog data to Digital signals และการแปลงสัญญาณ Digital data to Analog signals ซึ่ง Analog data to Digital signals ทำหน้าที่แปลงสัญญาณข้อมูลที่มนุษย์รับรู้ สัมผัสได้ เป็นข้อมูลทางไฟฟ้า เพื่อป้อนเข้าสู่การประมวลผล จึงเป็นขบวนการหนึ่งของการรับข้อมูล(Input Unit)เป็นกระบวนการอิเล็คทรอนิคส์ที่สัญญาณแปรผันต่อเนื่อง (analog) ได้รับการแปลงให้เป็นสัญญาณดิจิตอล โดยไม่มีการลบข้อมูลสำคัญผลลัพธ์ของ ADC มีลักษณะตรงข้าม คือ กำหนดระดับหรือสถานะ ตัวเลขของสถานะมักจะเป็นการยกกำลังของ 2 คือ 2, 4, 8, 16 เป็นต้น สัญญาณดิจิตอลพื้นฐานมี 2 สถานะและเรียกว่า binary ตัวเลขทั้งหมดสามารถแสดงในรูปของไบนารี ในฐานะข้อความของ หนึ่งและศูนย์ ส่วน Digital data to Analog signals จะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

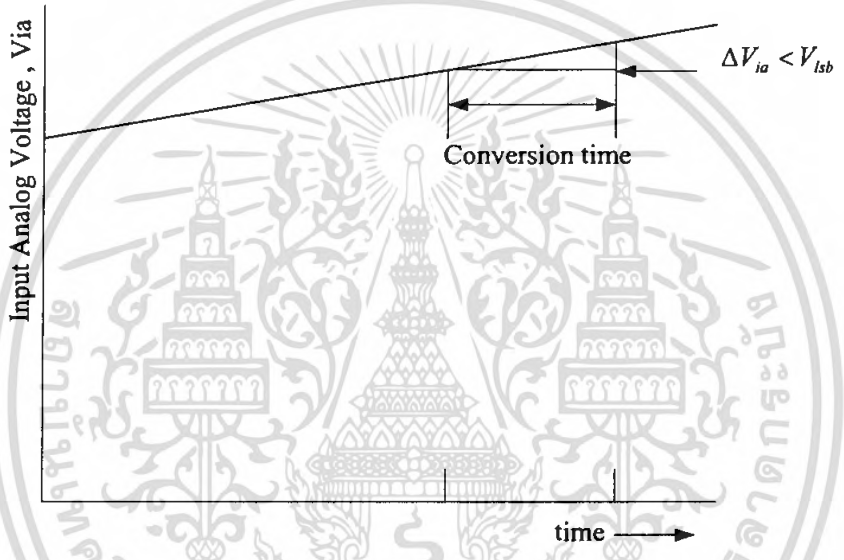
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
83301

2.9.1 อินพุทของวงจรแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล

ประเภทของสัญญาณอินพุทของวงจรแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล จะมีความสำคัญในการนำประเภทของวงจรแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล โดยสามารถแบ่งประเภทของสัญญาณอินพุทได้ 3 ประเภท คือ

2.9.1.1 สัญญาณ Direct Current (DC) หรือ Slowly Varying

ดังแสดงในรูปที่ 2.9 สัญญาณประเภทนี้จะเป็นค่าคงที่ หรือสัญญาณจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในระหว่างกระบวนการแปลงวงจรแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล ที่ใช้สัญญาณประเภทนี้ได้แก่วงจร Single Slope Analog to Digital Converter และ Dual Slope Analog to Digital Converter

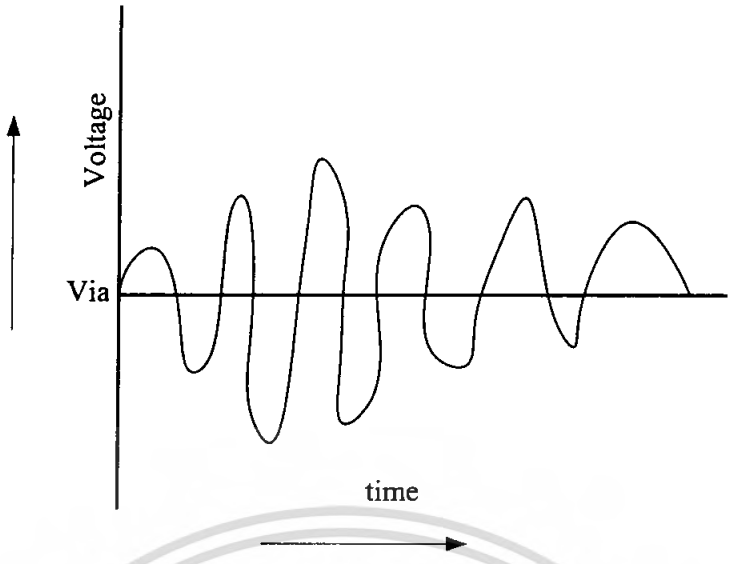


รูปที่ 2.9 สัญญาณ Direct Current (DC) หรือ Slowly Varying

2.9.1.2 สัญญาณ Continuosly Changing และ Single Event Alternating Current (AC)

ดังแสดงในรูปที่ 2.10 สัญญาณประเภทนี้จะมีแบนด์วิดธ์(Bandwidth)และระดับของสัญญาณจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อระหว่างกระบวนการแปลงสัญญาณ อุปกรณ์แปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลใช้สัญญาณประเภทนี้ได้แก่วงจร Successive Approximation และ Parallel Analog to Digital Converter

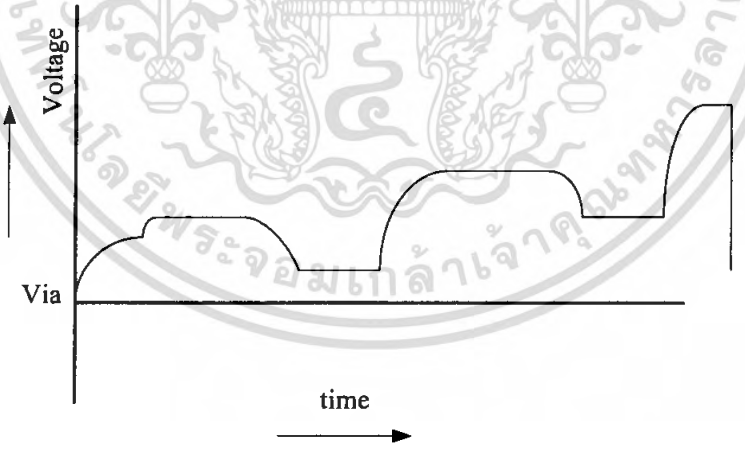
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 สัญญาณ Continuously Changing และ Single Event Altermating Current

2.9.1.3 สัญญาณ Pulse Amplitude

ดังแสดงในรูปที่ 2.11 สัญญาณประเภทนี้จะมีลักษณะของสัญญาณที่มีความสัมพันธ์ที่ต่อเนื่องกัน อุปกรณ์ในการแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลที่ใช้สัญญาณประเภทนี้ได้แก่วงจร Successive Approximation และ Parallel Analog to Digital Converter



รูปที่ 2.11 สัญญาณ Pulse Amplitude

2.9.2 กระบวนการแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล

คุณสมบัติของ ADC สามารถแบ่งออกได้ตามช่วงเวลาที่ใช้ในการแปลงสัญญาณได้เป็น 3 ชนิดใหญ่ๆดังนี้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

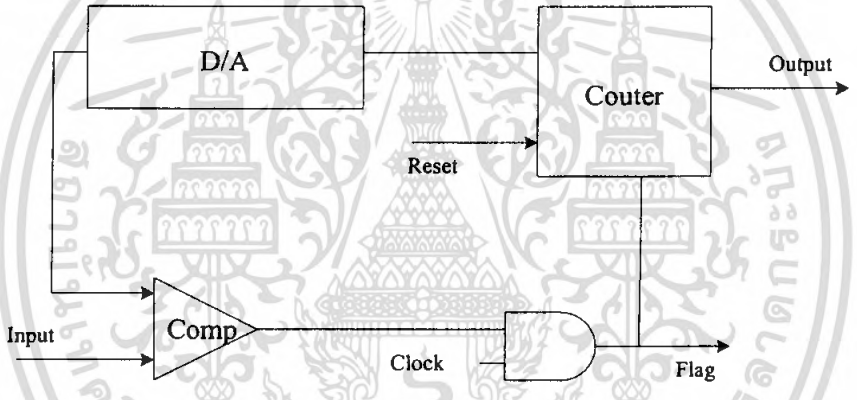
1. แบบ Dual-slop integrating ADC โดยวิธีการนี้จะใช้เวลาในการแปลงสัญญาณประมาณ 300 ms (มิลลิวินาที)

2. แบบประมาณค่าด้วยวิธีซัคเซสซีฟ (Successive approximation ADC) วิธีนี้ใช้เวลาในการแปลงค่อนข้างรวดเร็วในหน่วยของ μs (ไมโครวินาที) นิยมใช้ในการแปลงสัญญาณประมวลผลสัญญาณเสียงดิจิตอล (Digitize audio signal)

3. แบบแฟลช (Flash ADC) หรือแบบขนาน (Parallel ADC) เป็นแบบที่ใช้เวลาน้อยที่สุด แต่ก็มีราคาแพงมากที่สุดเช่นกัน มักใช้ในการประมวลผลสัญญาณวีดีโอดิจิตอล (Digitize video signal)

2.9.2.1 Counting Converter

Counting Converter เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดของการแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล โดยใช้อัลกอริทึม การนับค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แล้วนำผลที่ได้จากการนับไปเปรียบเทียบกับค่าที่ต้องการที่ตั้งไว้ ลักษณะการทำงานเป็นดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ไดอะแกรมแสดงการแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นดิจิตอลด้วยวิธี CountingConverter

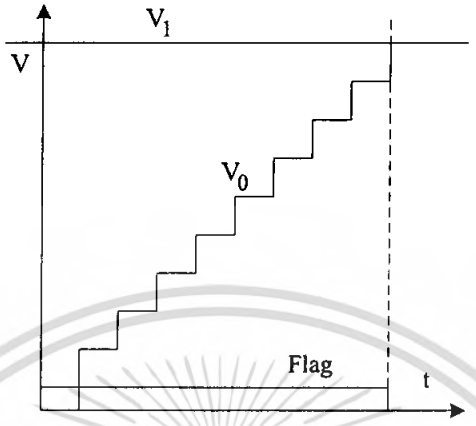
จากวงจร Counter เป็นอุปกรณ์นับค่าที่เพิ่มขึ้นทีละหนึ่ง แล้วส่งค่าที่ได้ให้ D/A มีขารีเซ็ต (Reset) รับสัญญาณรีเซ็ตเมื่อต้องการให้เริ่มนับใหม่ D/A เมื่อรับค่าที่นับเพิ่มขึ้นทีละหนึ่งจากตัวนับ ก็แปลงค่าให้เป็นสัญญาณแอนาลอกที่มีค่าความต่างศักย์ค่าๆหนึ่ง แล้วส่งต่อเข้าไปที่อุปกรณ์ตัวเปรียบเทียบ (Comparator)

Comparator จะเป็นอุปกรณ์ตัวเปรียบเทียบค่าความต่างศักย์ของอินพุต และค่าจากที่ตัวนับ ถ้าหากทั้งสองสัญญาณมีค่าเท่ากันส่งค่าความต่างศักย์ 0 โวลต์ออกมา(ลอจิก 0) ถ้าไม่เท่ากันก็จะส่งความต่างศักย์ที่ไม่ใช่0โวลต์ออกมา(ลอจิก1) ซึ่งค่าความต่างศักย์ที่ออกมา จะนำมาเข้าลอจิกเกต "และ" กับ สัญญาณนาฬิกา จะได้ค่าลอจิกออกมา ถ้าผลลัพธ์ออกมาเป็นสัญญาณนาฬิกาแสดงว่ายังไม่ได้ผลลัพธ์เท่าที่ต้องการ สัญญาณนาฬิกาก็จะไปทำให้ตัวนับนับเพิ่มขึ้นต่อไป และเมื่อได้ค่าผลลัพธ์ดิจิตอลที่ต้องการแล้ว ค่าที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก ตัวเปรียบเทียบจะให้ค่าความต่างศักย์เป็น 0 (ลอจิก 0) ซึ่งเมื่อนำมาเข้าลอจิกเกต "และ" กับสัญญาณนาฬิกาแล้ว ก็จะให้ลอจิก 0 ซึ่งทำให้ตัวนับไม่นับเพิ่มอีก ก็จะได้ค่าดิจิตอลจากตัวนับที่ต้องการ

จากคำอธิบายข้างต้นจะได้กราฟของ V0 ดังนี้



รูปที่ 2.13 กราฟแสดงการแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล

ข้อเสียของวิธีนี้ คือ การนับต้องเริ่มนับที่ 0 เสมอ และนับเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ทำให้ช้า เอาท์พุตที่ได้จะมีดีเลย์ (delay) จึงไม่ค่อยนิยมใช้เท่าที่ควร จึงได้เปลี่ยนตัวนับเป็นแบบนับลงได้ด้วย ซึ่งจะอ้างอิงระดับจากระดับเก่า ทำให้ไม่จำเป็นต้องนับ 0 ใหม่ เมื่อมีการเปลี่ยนอินพุตใหม่ แต่ให้อ้างอิงกับผลลัพธ์เดิม ทำให้ได้ผลลัพธ์เร็วขึ้น

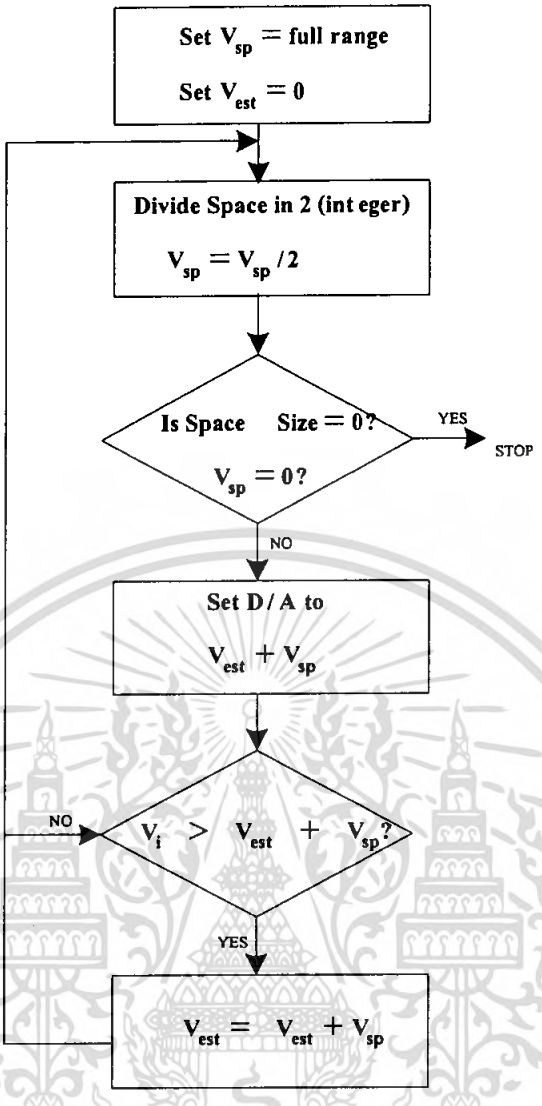
2.9.2.2 Successive Approximation

ใช้หลักการของ "binary search" ในการหาคำตอบ โดยนำค่าผลลัพธ์มาเปรียบเทียบกับค่ากึ่งกลางของช่วง เพื่อให้ทราบว่าค่านั้นๆมากกว่าหรือน้อยกว่า โดยจะปรับช่วงให้แคบลงมาเรื่อยๆแล้วเปรียบเทียบผลลัพธ์กับค่ากึ่งกลางของช่วงไปเรื่อยๆจนได้ผลลัพธ์ที่ต้องการ

ข้อดีของวิธีนี้ คือ เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ n รอบ แน่นอน (สำหรับ n bit converter ซึ่งอ้างอิงได้ 2^n ระดับ และระดับ V_{in} ที่คงที่ ซึ่งใช้เวลาน้อยกว่าแบบ "Counting Algorithm"

แต่มีข้อเสีย คือถ้า V_{in} เปลี่ยนทันทีทันใด ขณะที่กำลังทำ binary search อยู่นั้น คำตอบที่ได้จะผิดพลาด

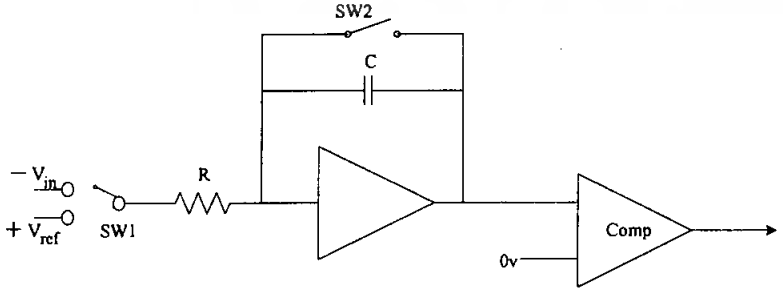
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 Binary Search Strategy

2.9.2.3 การแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นดิจิตอลแบบ Dual-slop integrating ADC

ใช้หลักการของวงจรอินทีเกรเตอร์(Integrater) ทำงานร่วมกับตัวคอมพาราเตอร์ (Comparater) ดังรูป



รูปที่ 2.15 แสดงวงจรของ Dual-slop integrating ADC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Input Voltage มี 2 ตัว คือ ค่าความต่างศักย์อนาล็อกที่ต้องการแปลงเป็นดิจิตอล ($-V_{in}$) และความต่างศักย์ที่คงที่ค่าหนึ่ง(V_{ref})และมีสวิตช์SW1ซึ่งทำหน้าที่เลือกค่าสัญญาณ

จากวงจรตอนเริ่มต้นสวิตช์ SW2 ทำหน้าที่คายประจุของตัวเก็บประจุ C แล้วจึงเปิด SW2 ออก เมื่อสวิตช์ SW1 สับมาที่ $-V_{in}$ จากวงจร Intergrater จะพิสูจน์สมการได้ดังนี้

$$I = C\frac{dV_0}{dt}$$

$$-V_{in} + iR - V_0 + V_0 = 0$$

$$-V_{in} + RC\frac{dV_0}{dt} = 0$$

$$V_{in} = RC\frac{dV_0}{dt}$$

$$\int dV_0 = \int \frac{V_{in}\,dt}{RC}$$

$$V_0 = \frac{V_{in}(t)}{RC}$$

slope มีค่าเท่ากับ $\frac{V_{in}}{RC}$

ค่า t ที่ใช้มีค่าคงที่ t_m

เมื่อ t เพิ่มจากศูนย์ถึง t_m ให้SW1 สับไปที่ V_{ref}

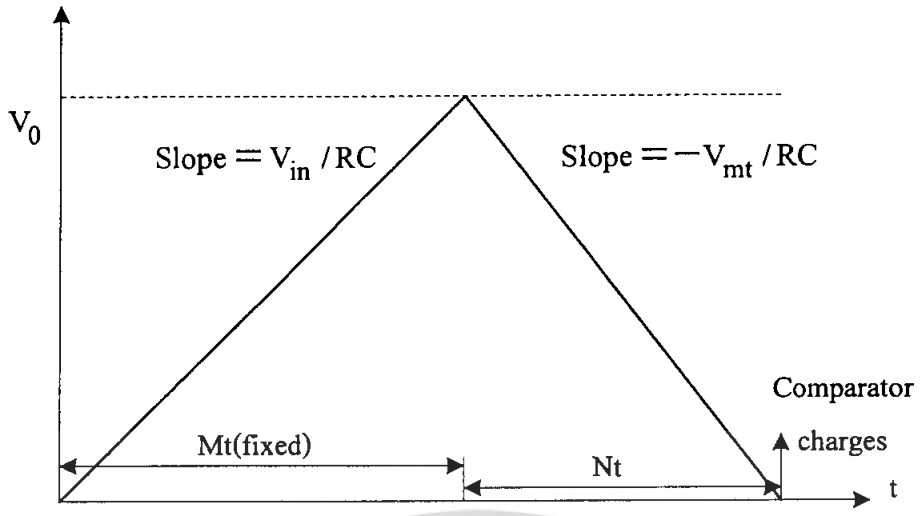
จะได้สมการ $V_0 = \frac{V_{ref}(t)}{RC}$

slope มีค่า $\frac{V_{ref}(t)}{RC}$

สมมติ ช่วงเวลาตั้งแต่ความต่างศักย์ที่ t_m จนความต่างศักย์เป็น 0 มีค่าเท่ากับ t_n

ได้ดังแสดงในกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 กราฟความชันของ Dual-slop integrating ADC

จากหลักของสามเหลี่ยมคล้าย จะได้สมการ $V_{in} = V_{ref} \frac{t_n}{t_m}$

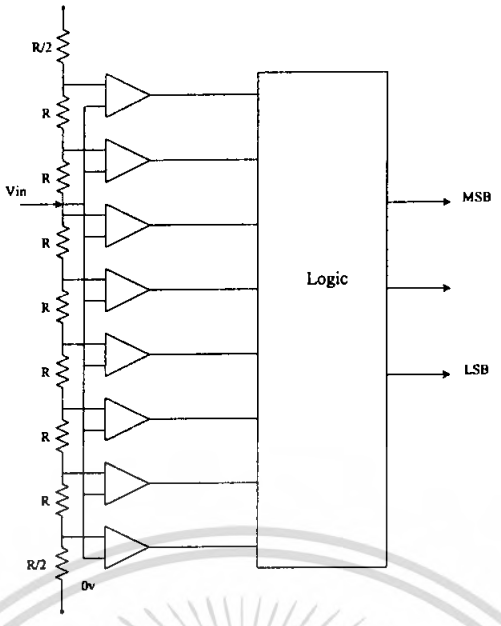
เนื่องจาก V_{ref} และ t_n มีค่าคงที่ สัญญาณแอนาลอกขึ้นกับค่า t_n เพราะการควบคุมการเปลี่ยนสัญญาณดิจิตอลที่ขึ้นกับค่าt_n

การแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอลจะทำโดยจับคู่ค่า t_n กับเอาต์พุตค่าๆ หนึ่ง ตามความเหมาะสมสำหรับ V_{ref} นั้นๆเหมือนการเทียบค่าในตาราง ความเร็วของการแปลงสัญญาณแบบนี้ ขึ้นอยู่กับ V_{in} และ Slope ของวงจร integrater

2.9.2.4 การแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นดิจิตอลแบบแฟลช

การแปลง A/D ด้วยวิธีนี้จะใช้วิธีแบ่งแรงดัน โดยตัวต้านทานแบ่งแรงดันเพื่อที่จะใช้เปรียบเทียบกับสัญญาณแอนาลอก โดยรูปที่ 2.17 จะเป็นตัวอย่างการแปลง A/D ชนิด 3 บิต จะใช้ตัวแบ่งแรงดัน 7 ระดับ โดยแรงดันในแต่ละระดับจะเพิ่มขึ้นในอัตราส่วนที่เท่ากัน

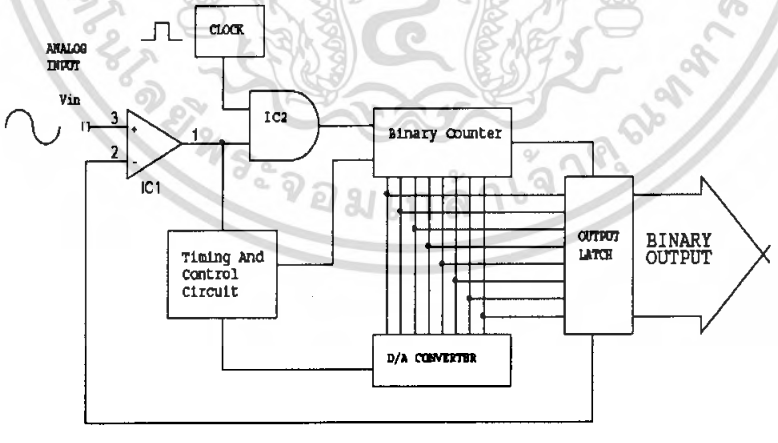
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 ไดอะแกรมของการแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นดิจิตอลแบบแฟลช 3 บิต

2.9.3 การแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นดิจิตอลแบบติดตาม

การแปลง A/D ด้วยวิธีนี้จะใช้วงจรแบบนับ เพื่อนับค่าการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณแอนาลอกที่เปลี่ยนแปลงไป โดยการนับค่าการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณแอนาลอกจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงไปเรื่อยๆ โดยไม่มีการรีเซตค่าการนับครั้งก่อน และค่าดิจิตอลเอาต์พุทจะเปลี่ยนแปลงช้าหรือเร็วขึ้นอยู่กับจำนวนพัลส์ของสัญญาณนาฬิกาที่ป้อนให้กับวงจร



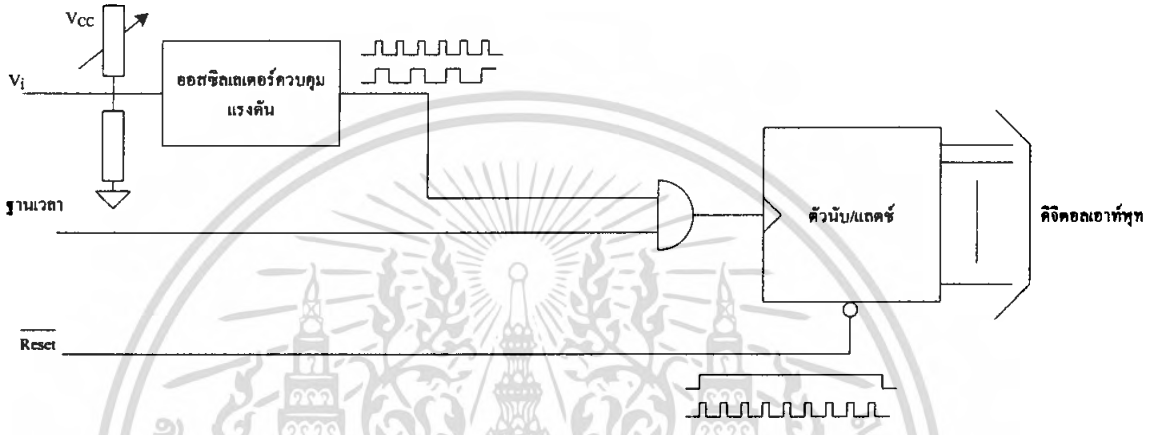
รูปที่ 2.18 ไดอะแกรมของการแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นดิจิตอลแบบติดตาม

ADC แบบความชันคู่ใช้วงจรขยายดำเนินการเพื่ออินทิเกรตอินพุตแอนาลอกคือ เมื่อค่าแรงดันหนึ่งสัญญาณลาดเอียงจะถูกปล่อยให้ต่อเนื่องเป็นเวลาคงที่ และแรงดันที่ได้นั้นจะปฏิภาคโดยตรงกับอินพุตแอนาลอก เวลาคงที่ดังกล่าวจะถูกควบคุมด้วยการตรวจจับเวลา เมื่อวงจรนับทำการนับถึงค่า

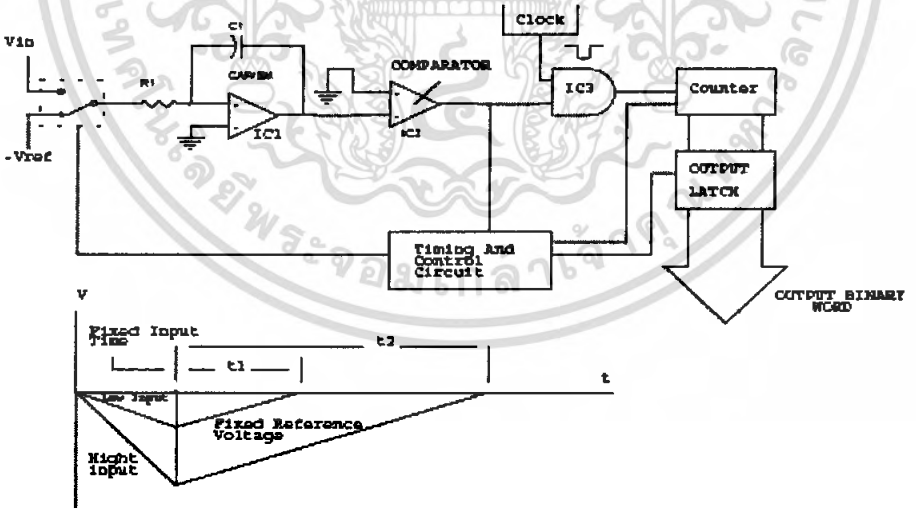
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดไว้ดังกล่าววงจรนับจะเกิดการรีเซตและวงจรควบคุมจะทำให้สวิตช์ ไปยังแรงดันอ้างอิงที่มีขั้วตรงข้ามกับอินพุตแอนาลอก

ข้อดีที่สำคัญอย่างหนึ่งของตัวแปลงผัน A/D แบบความชันคู่ คือตัวอินทิเกรตจะกำจัดสัญญาณรบกวน เนื่องจากที่เอาต์พุตของตัวอินทิเกรตมีแอมป์พลิจูดเป็นปฏิภาคผกผันกับความถี่ ดังนั้นองค์ประกอบสัญญาณรบกวนความถี่สูง ในอินพุตแอนาลอกจะถูกลดทอนลงไป คุณสมบัตินี้ทำให้เป็นประโยชน์สำหรับระบบเครื่องมือและถูกใช้มากในการประยุกต์ เช่น โวลต์มิเตอร์ อย่างไรก็ตาม ADC แบบการอินทิเกรตไม่รวดเร็วมากนัก จึงถูกใช้เฉพาะกับสัญญาณที่มีความถี่ต่ำและปานกลาง



รูปที่ 2.19 ไดอะแกรมแสดงการแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นดิจิตอลแบบอินทิเกรต



รูปที่ 2.20 แผนผังและช่วงเวลาการทำงานของการแปลงความชันคู่

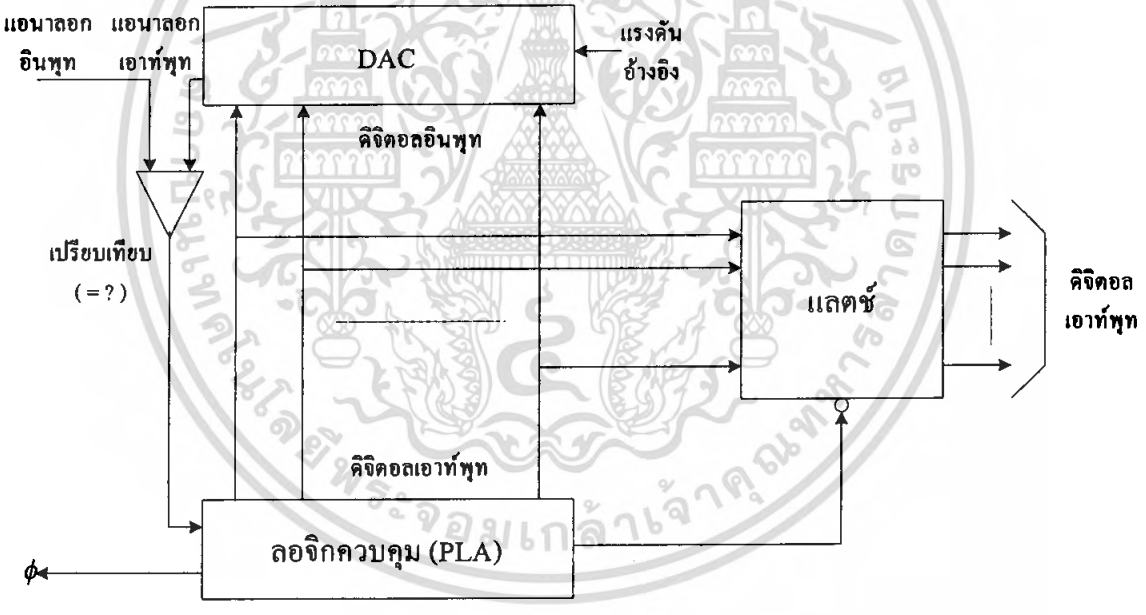
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.4 วงจรการแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นดิจิตอลแบบประมาณสืบเนื่อง

การประมาณสืบเนื่องเป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมมากที่สุดสำหรับใช้ในการสร้างตัวแปลงผัน A/D และนอกจากตัวแปลงผันแบบแฟลชแล้ว ตัวแปลงผันแบบการประมาณสืบเนื่องมีความเร็วที่สุดกว่าแบบอื่น

วิธีของการประมาณสืบเนื่องเป็นการทดสอบแบบลองผิดลองถูก ซึ่งจะถูกปรับให้เกิดเลขจำนวนที่เข้าใกล้ค่าของอินพุตมากกว่าค่าก่อนหน้า นั่นคือตัวเปรียบเทียบแรงดันจะทำการเปรียบเทียบ D/A ทางเอาต์พุตว่ามีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่า อินพุตแอนาลอกที่ป้อนเข้ามา หากค่าน้อยกว่าที่พัลส์สัญญาณนาฬิกาต่อไป วงจรควบคุมจะทำให้รีจิสเตอร์เอาต์พุตโหลดค่าเพิ่มขึ้นมา แล้วทำการเปรียบเทียบอีกที หากค่ายังน้อยกว่าในพัลส์สัญญาณนาฬิกาต่อไปวงจรควบคุมจะทำให้รีจิสเตอร์เอาต์พุตโหลดค่าเพิ่มขึ้นมา จนกว่าจะได้รับค่าที่เท่ากับอินพุต

ส่วนประกอบปฐมภูมิที่มีผลต่อความแม่นยำของตัวแปรแบบการประมาณสืบเนื่อง คือตัวแปลงผัน D/A ซึ่งมีผลทำให้แรงดันอ้างอิงที่ถูกต่อเข้ากับ D/A และร่างตาข่ายขั้นบันไดจะต้องเที่ยงตรงมากๆ เพื่อให้ได้การแปลงผันที่แม่นยำ อีกทั้งอินพุตแอนาลอกจะต้องคงค่าเดิมไว้ตลอดระหว่างเวลาการแปลงผัน



รูปที่ 2.21 แสดงการแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลแบบการประมาณสืบเนื่อง

2.10 กระบวนการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนาลอก

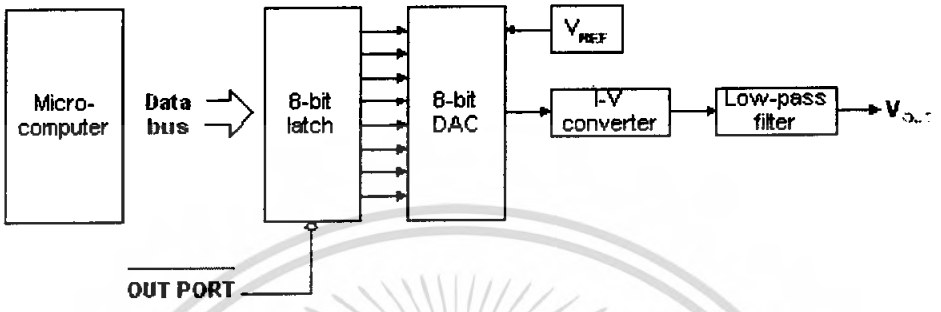
2.10.1 Digital to Analog Converter

อุปกรณ์ทางไฟฟ้า/อิเล็กทรอนิกส์ โดยทั่วไปที่เป็นแอนาลอก สามารถควบคุมการทำงานโดยการให้อินพุตเป็นระดับแรงดันที่แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น มอเตอร์กระแสตรง ซึ่งควบคุมความเร็วโดยเปลี่ยนระดับแรงดัน (หรือกระแส) ของขดลวดสนาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

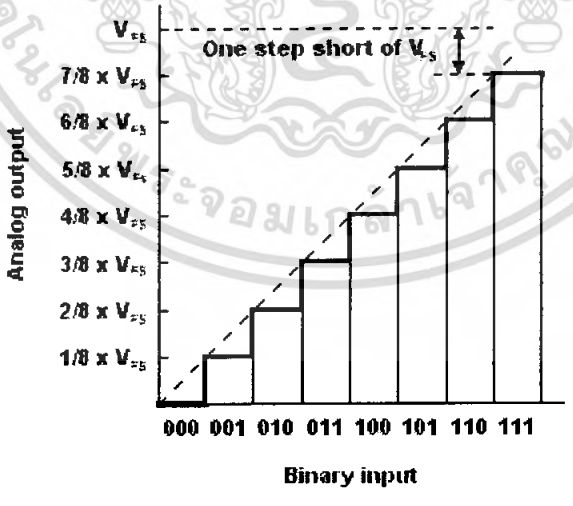
เมื่อนำระบบดิจิตอลหรือไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้ควบคุมอุปกรณ์ทางแอนาลอกเหล่านี้ จึงต้องมีวงจรซึ่งสามารถแปลงสัญญาณทางดิจิตอลเป็นระดับแรงดันต่อเนื่องแบบแอนาลอก ตั้งแต่ศูนย์โวลต์จนถึงระดับสูงสุดที่กำหนดไว้ เรียกว่าวงจร Digital to Analog Converter (DAC)

2.10.1.1 คุณสมบัติของ Digital to Analog Converter



รูปที่ 2.22 ระบบการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนาลอก

รูปที่ 2.22 แสดงถึงส่วนประกอบหลักของระบบ DAC โดยทั่วไป ไมโครคอมพิวเตอร์จะมีเอาต์พุตเป็นค่าไบนารี วงจรแลทช์รับค่าไบนารีเข้ามาเพื่อส่งไปยัง DAC ในวงจรจะใช้แหล่งกำเนิดแรงดันหรือ กระแสคงที่เพื่ออ้างอิงในการแปลงข้อมูลไบนารีเป็นระดับกระแส ต่อมาจะมีวงจรแปลงจากกระแสเป็นระดับแรงดัน (current-to-voltage converter) ซึ่งปกติจะใช้ออป-แอมป์ (Op-amp)ท้ายสุดสัญญาณแอนาลอกที่ได้จะผ่านวงจร low-pass filter เพื่อกำจัดสัญญาณความถี่สูงที่แฝงอยู่ในสัญญาณที่ถูกสร้างขึ้นมา



รูปที่ 2.23 Transfer Curve ในอุดมคติของ DAC 3 บิต

รูปที่ 2.23 เป็นกราฟแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างเอาต์พุตที่เป็นแอนาลอกกับอินพุตที่เป็นดิจิตอลขนาด 3 บิตเรียกว่า transfer curve สังเกตว่าเมื่ออินพุตไบนารีเพิ่มขึ้น เอาต์พุตแอนาลอกจะเพิ่ม ในลักษณะขั้นบันได ขนาดของแต่ละขั้นจะหาได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$stepsize = V_{FS}/2^n$$

เมื่อให้ V_{FS} คือระดับแรงดันเอาต์พุตสูงสุด

n คือจำนวนบิตของอินพุต

เนื่องจากเอาต์พุตของ DAC จะเพิ่มเป็นขั้นๆ รูปคลื่นสัญญาณที่ได้จาก DAC จึงมีลักษณะไม่เรียบดังตัวอย่าง ในรูปที่ 2.25 ซึ่งแสดงถึงสัญญาณไซน์ ที่สร้างจาก DAC

รูปที่ 2.24 คลื่นไซน์ที่สร้างจาก DAC

ถ้าเพิ่มจำนวนบิต ความละเอียดของ DAC จะเพิ่มขึ้น เช่น เมื่อใช้ DAC 12 บิต และ V_{FS} = 5.0 V ความละเอียดคือ 5.0 V / 4096 = 1.22 mV ซึ่งจะ ละเอียดกว่า DAC 8 บิตถึง 16 เท่า ความถูกต้องของ DAC ขึ้นอยู่กับหลายส่วน

Quantization error DAC บิต V_{FS} = 5.0 V เอาต์พุตจะมีความละเอียด 19.53 mV ถ้าต้องการเอาต์พุต 4.00 V DAC จะให้เอาต์พุตได้ใกล้เคียง ที่สุดคือ 4.04 V (19.53 mV x 205) ผิดพลาด 4 mV โดยทั่วไปค่าผิด พลาดจะเท่ากับ +/- 0.5 LSB (least significant bit) ตัวอย่างเช่น DAC 8 บิต ความผิดพลาดจะเป็น 1 ใน 512 หรือ +/- 0.195 %

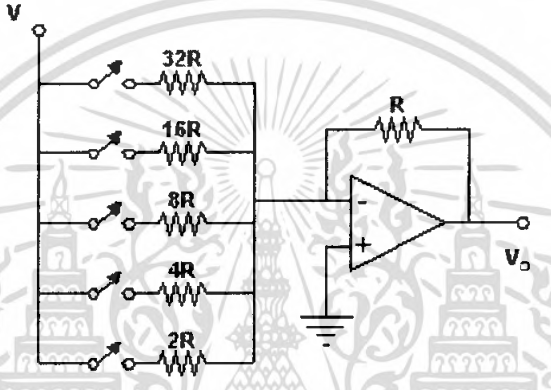
Offset and gain errors เมื่ออินพุตไบนารีเท่ากับ 0 แต่เอาต์พุตของ DAC ไม่เป็น 0 เรียกว่า offset error และอาจเกิดร่วมกับ gain error ความผิดพลาดเหล่านี้จะทำให้ transfer curve ในรูปที่ 2.18 โค้งขึ้นหรือลง ขึ้นอยู่กับความไม่สมดุลภายใน DAC อย่างไรก็ตาม offset error และ gain error จะแก้ได้โดยใช้ความต้านทานปรับค่าได้ต่อไว้ภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Nonlinearity คือ ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดของ transfer curve เทียบกับเส้นตรงจากจุดศูนย์และจุดสูงสุด ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความผิดพลาดของส่วนประกอบภายใน DAC ใน data sheet ของ DAC จะระบุเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับค่าสูงสุด หรือ ระบุเป็นเศษส่วนของ LSB (โดยทั่วไปคือ +/- 0.5 LSB)

Settling time คือ ช่วงเวลานับแต่ให้อินพุตจนกระทั่ง DAC ให้เอาต์พุต วัดเมื่อเอาต์พุตที่ได้ผิดพลาดจากค่าจริงน้อยกว่า 0.5 LSB ค่าเวลานี้อาจน้อยกว่า 100 ns สำหรับ DAC ความเร็วสูงและอาจมากกว่า 100 us สำหรับ DAC ราคาถูก

2.10.2 Summed Source DAC



รูปที่ 2.25 Summed Source DAC

เป็นวงจรอย่างง่ายในการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนาลอก จากรูปที่ 2.25 จะเห็นว่าเป็นวงจร Summing Amp มีความต้านทานค่า 2R, 4R และ 8R เพื่อทำให้กระแสที่ผ่านความต้านทานแต่ละตัวมีค่าลดลงเป็น 2 เท่า ความต้านทานตัวล่างสุด (2R) จะ เป็น MSB ส่วนตัวบนสุดจะเป็น LSB

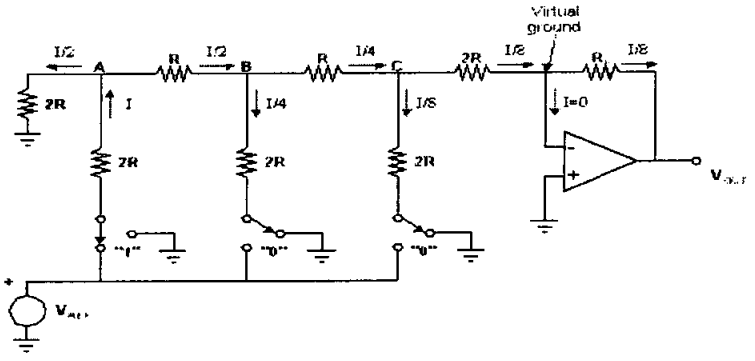
ข้อเสียของการใช้วงจรลักษณะนี้ ในทางปฏิบัติ ค่าความต้านทานที่ต่างกันเป็น 2 เท่า คือ 2R, 4R, 8R, ... จะไม่สามารถหาได้ง่าย จึงมีการปรับปรุงเป็น วงจร R-2R

2.10.3 Switched Voltage R-2R DAC

รูปที่ 2.26 เป็น DAC 3 บิต ใช้ Op-amp และความต้านทานเพียง 2 ค่าคือ R และ 2R สังเกตว่าอินพุตดิจิตอลจะมาจากสวิตช์ทั้ง 3 ซึ่งอาจต่อกับกราวด์ (ลอจิก 0) หรือต่อกับ V_{REF} (ลอจิก 1) ตัวอย่างนี้อินพุตเป็น 001

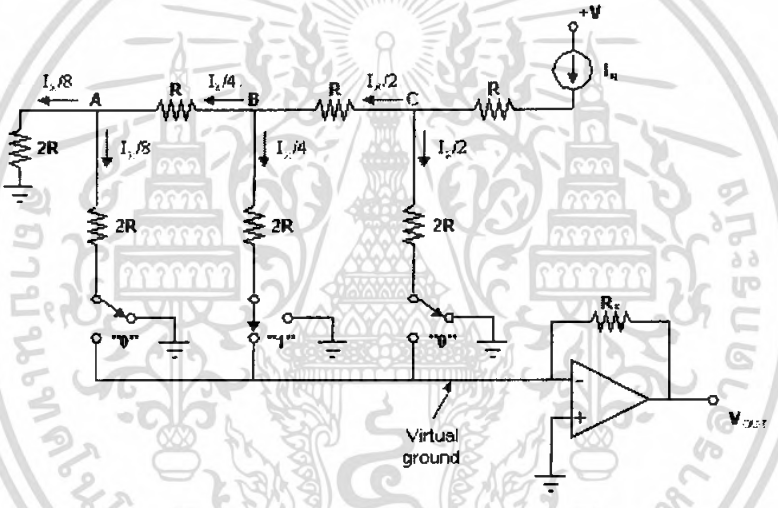
พิจารณากระแส I เมื่อผ่านจุด A จะถูกแบ่งเป็นสองส่วนเท่าๆ กัน เหลือ I/2 เมื่อผ่านจุด B และ C จะถูกแบ่งอีกครั้งเหลือ I/4 และ I/8 ตามลำดับ ดังนั้นกระแสที่ป้อนให้กับ Op-amp จะเหลือ I/8 เมื่อพิจารณาที่สวิตช์ตัวอื่นๆก็จะมีลักษณะคล้ายกัน ดังนั้นกระแสที่ผ่าน Op-amp เมื่อปิดสวิตช์อื่นนับจากซ้ายมาขวาจะมีขนาด I/8, I/4 และ I/2 ตามลำดับ สวิตช์ซ้ายสุดจะเป็น LSB ส่วนขวาสุดจะเป็น MSB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.26 Switched Voltage R-2R DAC

2.10.4 Switched Current R-2R DAC

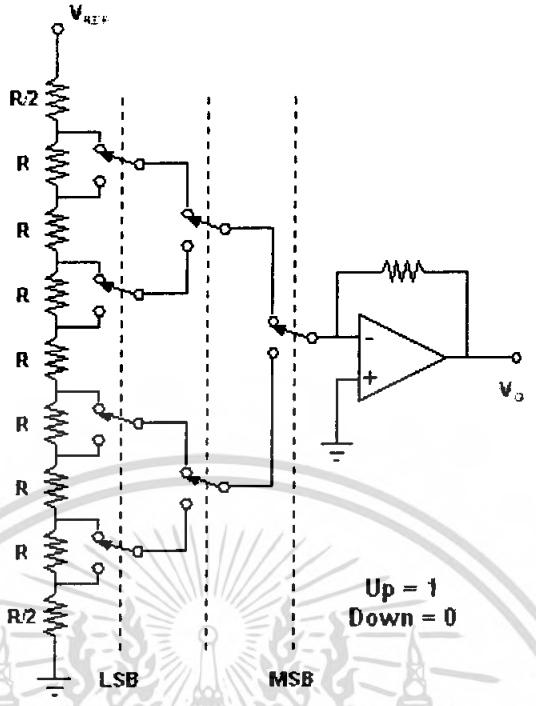


รูปที่ 2.27 Switched Current R-2R DAC

วงจรนี้เปลี่ยนจากการใช้แรงดันอ้างอิง (V_{REF}) มาเป็นกระแสอ้างอิง (I_R) กระแสที่ผ่านสวิตช์แต่ละตัวจากขวามาซ้ายจะเป็น $I_R/2$, $I_R/4$ และ $I_R/8$ ตามลำดับ วงจรลักษณะนี้จะมีความเร็วสูงกว่าวงจร Switched Voltage เนื่องจากคาปาซิแตนซ์ที่รอยต่อ (junction capacitance) ของความต้านทานแต่ละตัวจะไม่ถูกชาร์จและดิสชาร์จเหมือนวง จร Switched Voltage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.5 Switched Pole DAC



รูปที่ 2.28 Switched Pole DAC

จะมีการใช้ความต้านทานต่ออนุกรมกันหลายตัว เนื่องจากวงจรนี้ต้องการความต้านทานค่าเท่าๆ กัน ดังนั้นจึงเป็นที่นิยมสำหรับผู้ผลิต Integrated Circuit สังเกตว่าจะมีความต้านทานที่ปลายทั้งสองของอนุกรมเพื่อปรับ offset ของเอาต์พุต

2.11 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีจำนวนมาก ขึ้นกับโครงสร้างภายใน บางเบอร์มีหน่วยความจำภายในเป็นแบบรอม บางเบอร์เป็นแบบอีพรอม บางเบอร์มีแรมภายใน 128 ไบท์ บางเบอร์มี 256 ไบท์ เป็นต้น

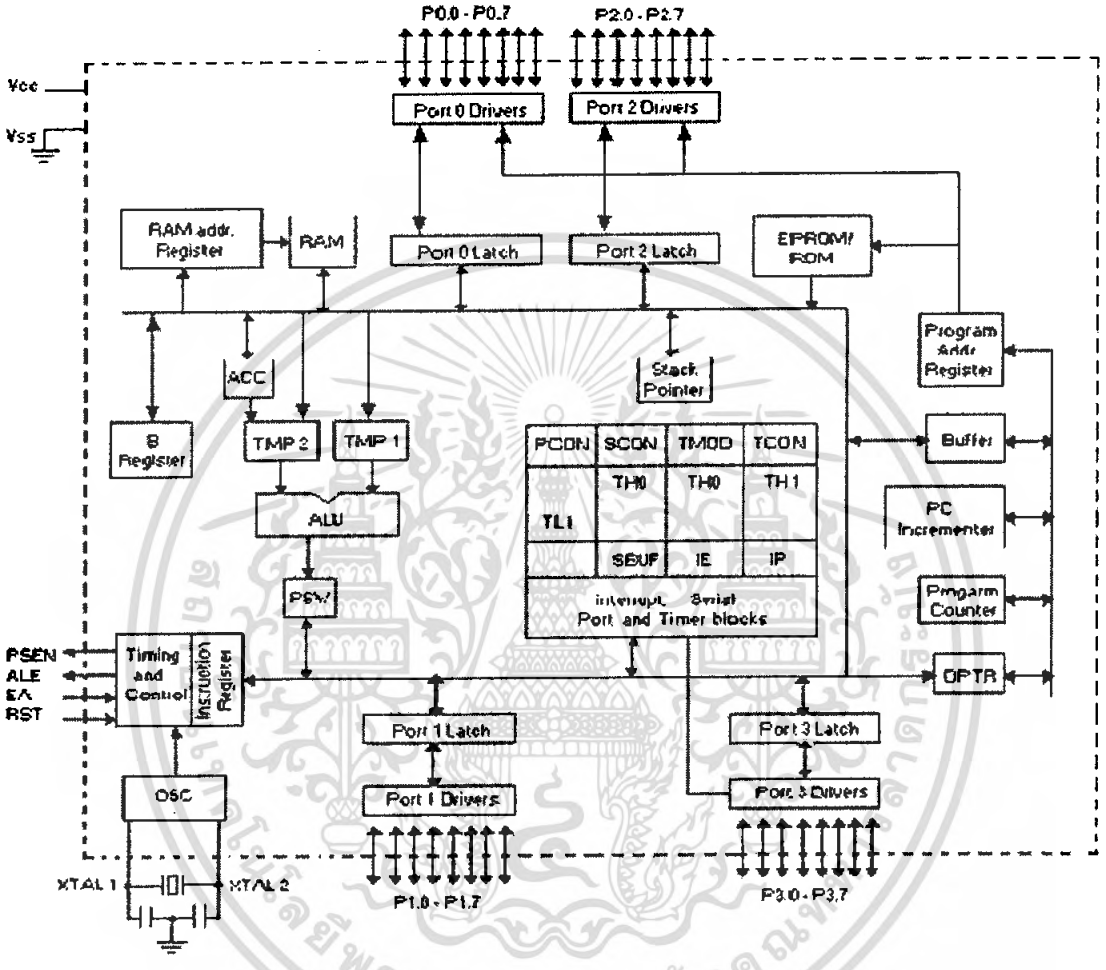
คุณสมบัติที่สำคัญของ MCS-51 มีดังนี้

- หน่วยความจำรอม 4 กิโลไบท์
- หน่วยความจำแรม 128 ไบท์
- พอร์ทอินพุทและเอาท์พุท ขนาด 8 บิต 4 พอร์ท
- Timer 16 บิต 2 ตัว
- สามารถอินเทอร์รัพท์ได้ 5 แหล่ง
- วงจรออสซิลเลเตอร์และวงจรนาฬิกาบนชิพ
- พอร์ทอนุกรมสามารถรับส่งข้อมูลแบบ Full Duplex ความเร็วสูง
- อ้างหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกได้ 64 กิโลไบท์
- อ้างหน่วยความจำข้อมูลภายภายนอกได้ 64 กิโลไบท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สามารถประมวลผลทีละบิต
- อ้างหน่วยความจำแบบบิตได้ 210 ตำแหน่ง
- หนึ่งวัฏจักรคำสั่งกินเวลาประมาณ 1 ไมโครวินาทีขณะทำงานด้วย Clock 12 เมกะเฮิร์ท

ตัวอย่าง ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ไดอะแกรมโครงสร้างภายในแสดงดังรูปที่ 2.29

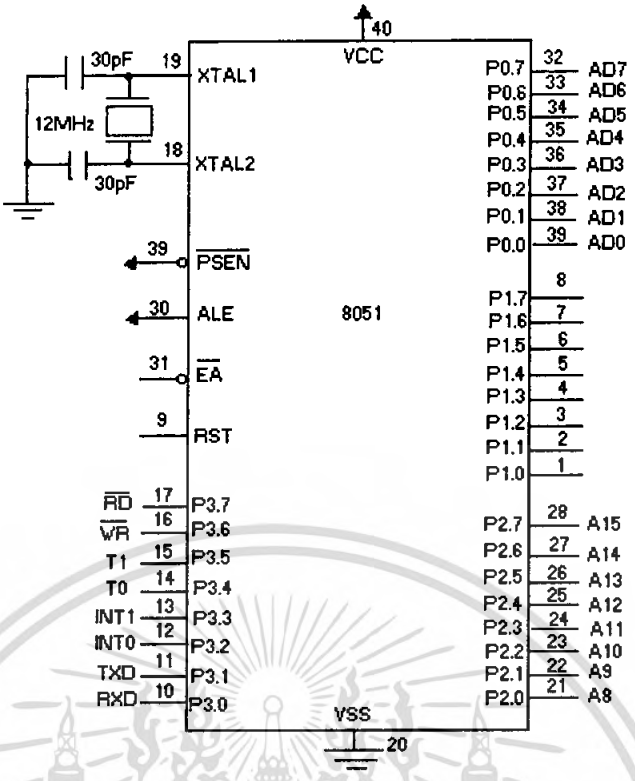


รูปที่ 2.29 ไดอะแกรมโครงสร้างภายในไมโครคอนโทรลเลอร์

2.11.1 การจัดขาต่าง ๆ ของ MCS-51

ไอซี ไมโครคอนโทรลเลอร์ โครงสร้าง ไอซี เป็นแบบ DIP มีขาทั้งหมด 40 ขา โดยขาต่างๆ เป็นขาพอร์ทอินพุท , ขาพอร์ทเอาท์พุท , ขาสัญญาณควบคุม ,ขาตำแหน่งหน่วยความจำข้อมูลดังรูปที่ 2.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.30 การจัดขาของ MCS-51

2.11.2 ความหมายขาต่างๆ มีดังนี้

1. พอร์ท 0 (Port 0)

พอร์ท 0 ได้แก่ขา 32-39 สามารถเป็นพอร์ทอินพุทและเอาท์พุทได้ ซึ่งในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกสามารถเป็นขาบัสตำแหน่ง และบัสข้อมูลได้

2. พอร์ท 1 (Port 1)

พอร์ท 1 ได้แก่ขา 1-8 เป็นพอร์ท 8 บิต สามารถอ้างทีละบิตได้ เป็น P1.0, P1.1,...etc

3. พอร์ท 2 (Port 2)

พอร์ท 2 ได้แก่ขา 21-28 สามารถทำงานได้ 2 หน้าที่ เป็นพอร์ท 8 บิต และเป็นขาแอดเดรส 8 บิต ในการอ้างหน่วยความจำภายนอก

4. พอร์ท 3 (Port 3)

พอร์ท 3 ได้แก่ขา 10-17 สามารถทำงานได้ 2 หน้าที่ เป็นพอร์ทอินพุทและเอาท์พุท และเป็นขาควบคุมต่างๆ ดังตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ขาควบคุมต่างๆของพอร์ท 3

บิต	ชื่อ	หน้าที่พิเศษ
P3.0	RXD	ใช้รับข้อมูลทางพอร์ทอนุกรม
P3.1	TXD	ใช้ส่งข้อมูลทางพอร์ทอนุกรม
P3.2	$\overline{\text{INT0}}$	อินเทอร์รัพท์ภายนอกหมายเลข 0
P3.3	$\overline{\text{INT1}}$	อินเทอร์รัพท์ภายนอกหมายเลข 1
P3.4	T0	ตัวจับเวลา/ตัวนับ ตัวที่ 0
P3.5	T1	ตัวจับเวลา/ตัวนับ ตัวที่ 1
P3.6	$\overline{\text{WR}}$	สัญญาณเขียนข้อมูลหน่วยความจำภายนอก
P3.7	$\overline{\text{RD}}$	สัญญาณอ่านข้อมูลหน่วยความจำภายนอก

5. $\overline{PSEN}$ (Program Store Enable)

ขา $\overline{PSEN}$ ได้แก่ขา29 เป็นขาที่ส่งสัญญาณออก ขานี้ทำการแอคทีฟเมื่อ MCS-51 ต้องการอ่าน Code โปรแกรมภายนอก โดยปกติถ้าหน่วยความจำภายนอกเป็นอีพรอมขา $\overline{PSEN}$ ต่อกับขา Output Enable $\overline{OE}$ ของอีพรอม

6. ALE (Address Latch Enable)

เนื่องจากพอร์ท 0 สามารถเป็นขาอ้างตำแหน่ง และขาข้อมูล MCS-5 ซึ่งมีขา ALE ได้แก่ขา 30 ขานี้ใช้ผสมสัญญาณบัสตำแหน่งของพอร์ท 0 ในการใช้งานระบบ MCS-51 นั้น ต้องมีอุปกรณ์มาต่อกับพอร์ท 0 ที่ทำหน้าที่ Latch สัญญาณบัสตำแหน่ง เมื่อ MCS-51 ติดต่อกับ หน่วยความจำภายนอก MCS-51 ส่งสัญญาณบัสตำแหน่งออกมาก่อนทาง พอร์ท 0 จากนั้นส่งสัญญาณ ALE มา Latch อุปกรณ์ภายนอก ให้เก็บค่าบัสตำแหน่งของพอร์ท 0 ไว้เพื่อใช้พอร์ท 0 เป็นบัสข้อมูลต่อไป

7. $\overline{EA}$ (External Access)

ขา $\overline{EA}$ ได้แก่ขา 31 ในสภาวะเป็นลอจิก "1" ใช้กับเบอร์ 8051/8052 เพื่อให้อ่านโปรแกรมจากหน่วยความจำภายใน และในสภาวะเป็นลอจิก "0" ทำให้ MCS-51 ทำโปรแกรมโดยอ่านจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก (เมื่อ $\overline{EA}$ เป็น "0" ขา $\overline{PSEN}$ ทำการแอคทีฟ) หากเป็นเบอร์ 8031หรือ 8032 ขา $\overline{EA}$ เป็น "0" เสมอ เพราะไม่มีโปรแกรมหน่วยความจำภายใน หากใช้เบอร์ 8051/8052 ซึ่งมีหน่วยความจำภายในและให้ขา $\overline{EA}$ เป็น " 0 " ซึ่งหยุดการทำงานของรอมภายในและอ่านโปรแกรมจากอีพรอมภายนอกแทน

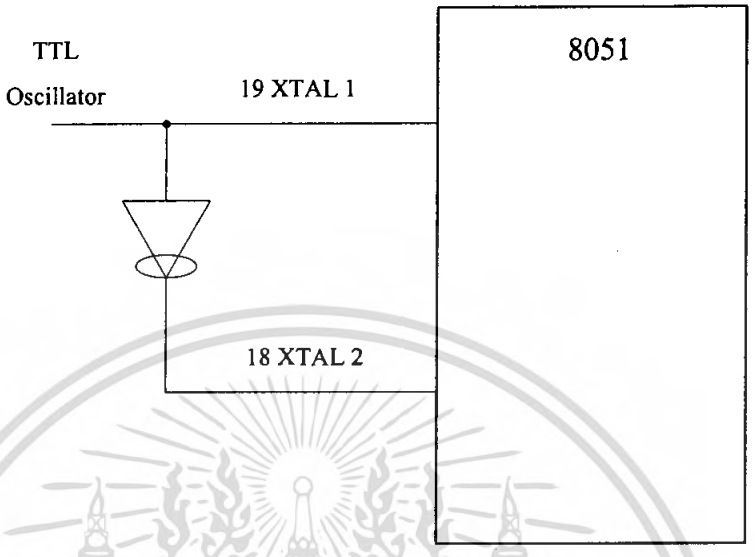
8. RST (Reset)

ขา RST ได้แก่ขา 9 เป็นขารีเซต MCS-51 โดยให้เป็นสภาวะลอจิก "1" อย่างน้อย 2 Machine Cycles จึงสามารถรีเซตระบบได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.3 ความถี่สัญญาณนาฬิกาบนชิพ (ON-chip Oscillator Inputs)

ได้แก่ขา 18-19 เป็นวงจรออสซิลเลเตอร์บนชิพ ซึ่งปกติทำการต่อคริสตัล ความถี่ 12 เมกะเฮิร์ท กับตัวเก็บประจุ หรืออาจใช้สัญญาณนาฬิกาจากต้นกำเนิดชนิด ทีทีแอลต่อกับ XTAL1 และ XTAL2 ดังรูปที่ 2.31



รูปที่ 2.31 วงจรออสซิลเลเตอร์บนชิพ

2.11.4 Power Connections

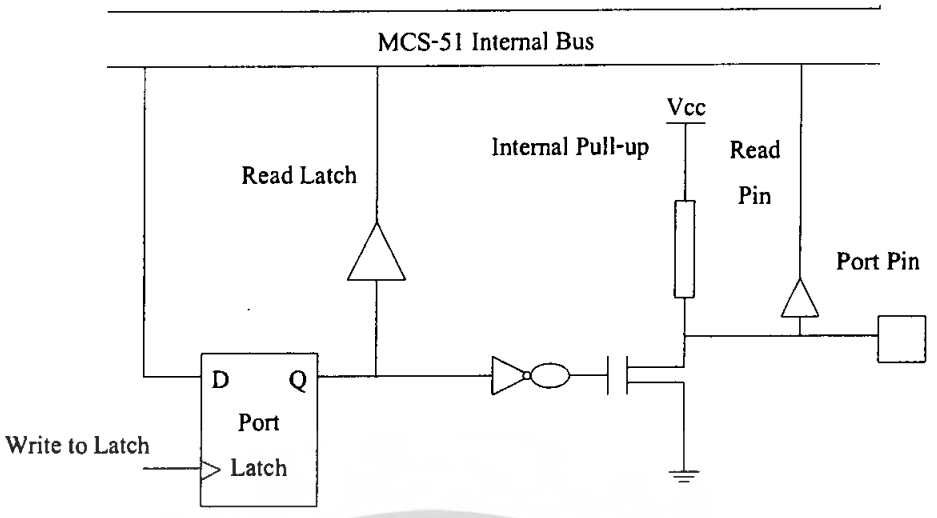
ใน MCS - 51 นำแหล่งจ่ายไฟ 5 โวลท์ ต่อเข้ากับ Vcc (ขา 40) ส่วนขา Vss (ขา 20) ต่อลง กราวด์

2.11.5โครงสร้างของพอร์ทอินพุทและเอาท์พุท (I/O Port Structure)

ขาของพอร์ทแสดงโครงสร้างภายใน มีโครงสร้างเป็น Field-effect Transistor ต่ออยู่กับขาภายนอก และมีความต้านทานต่อ Pull-up อยู่สำหรับพอร์ท 1, 2, 3 เมื่อเป็นพอร์ท 0 ไม่มีตัวต้านทาน Pull-up ภายใน เพราะต้องใช้เป็นขาบัสตำแหน่ง และบัสข้อมูล

พอร์ทนี้สามารถเป็นอินพุทและเอาท์พุทกับอุปกรณ์ภายนอกได้ ในการอ่านข้อมูลจากพอร์ทอ่านได้ 2 แบบได้แก่ Read Latch และ Read Pin โดย Read Latch หมายถึงการอ่านข้อมูลที่ถูก Latch เอาไว้เข้าสู่บัสภายในของ MCS-51 เช่นการทำคำสั่ง CPL P1.5 ถ้าเป็นการ Read Pin ซึ่งเป็นการใช้พอร์ทเป็นอินพุท โดยอ่านค่าจากขาของไอซีเข้าสู่บัสภายใน โดยการอ่านแบบ Read Latch และ Read Pin มีสัญญาณมาควบคุมที่บัฟเฟอร์ดังรูปที่ 2.32

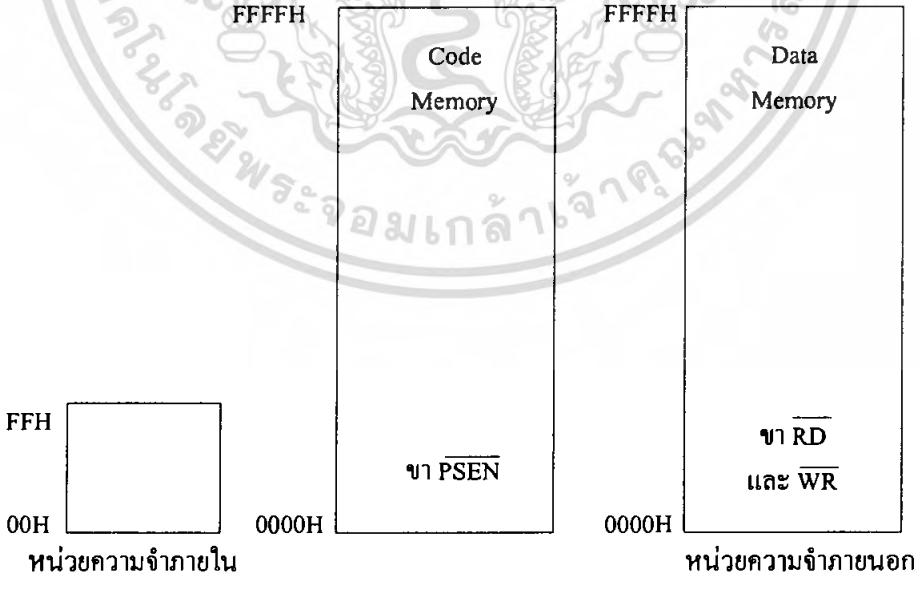
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.32 การต่อพอร์ทเข้ากับระบบบัสภายในของ MCS-51

2.11.6 โครงสร้างหน่วยความจำ

หน่วยความจำสำหรับ MCS-51 มี 2 ชนิดได้แก่ หน่วยความจำที่ใช้เก็บโปรแกรมรอม กับหน่วยความจำที่ใช้เก็บข้อมูล ในการประมวลผลแรม MCS-51 บางเบอร์ เช่น 8051, 8052 มีหน่วยความจำภายในชิพ และ MCS-51 ทุกเบอร์สามารถอ้างหน่วยความจำ โปรแกรมภายนอกได้มากที่สุด 64 กิโลไบท์ สำหรับหน่วยความจำแรมภายใน ประกอบไปด้วยพื้นที่ใช้งานทั่วไป , รีจีสเตอร์ชุด , พื้นที่ใช้งานระดับบิต และรีจีสเตอร์ฟังก์ชั่นพิเศษ ไดอะแกรมของหน่วยความจำของ 8031 แสดงได้ดังรูปที่ 2.33



รูปที่ 2.33 การจัดหน่วยความจำของ MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใน 8031 มีหน่วยความจำภายใน ตั้งแต่ตำแหน่ง 00H ถึง FFH และสามารถอ้างหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกได้ 64 กิโลไบท์ ตำแหน่งที่อ่านข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรมขา $\overline{PSEN}$ ทำการแอคทีฟ ซึ่ง 8031 สามารถอ้างหน่วยความจำภายนอกได้ 64 กิโลไบท์ ตำแหน่งโดยการติดต่อกับหน่วยความจำนี้ขา $\overline{RD}$ และ $\overline{WR}$ ทำการแอคทีฟ สำหรับหน่วยความจำข้อมูลภายในสามารถแบ่งได้ดังนี้

1.ชุดรีจีสเตอร์ 4 ชุดแต่ละชุดเรียกว่ารีจีสเตอร์ชุด ที่ตำแหน่ง 00H ถึง 1FH โดย แต่ละชุดประกอบด้วยรีจีสเตอร์ R0 ถึง R7

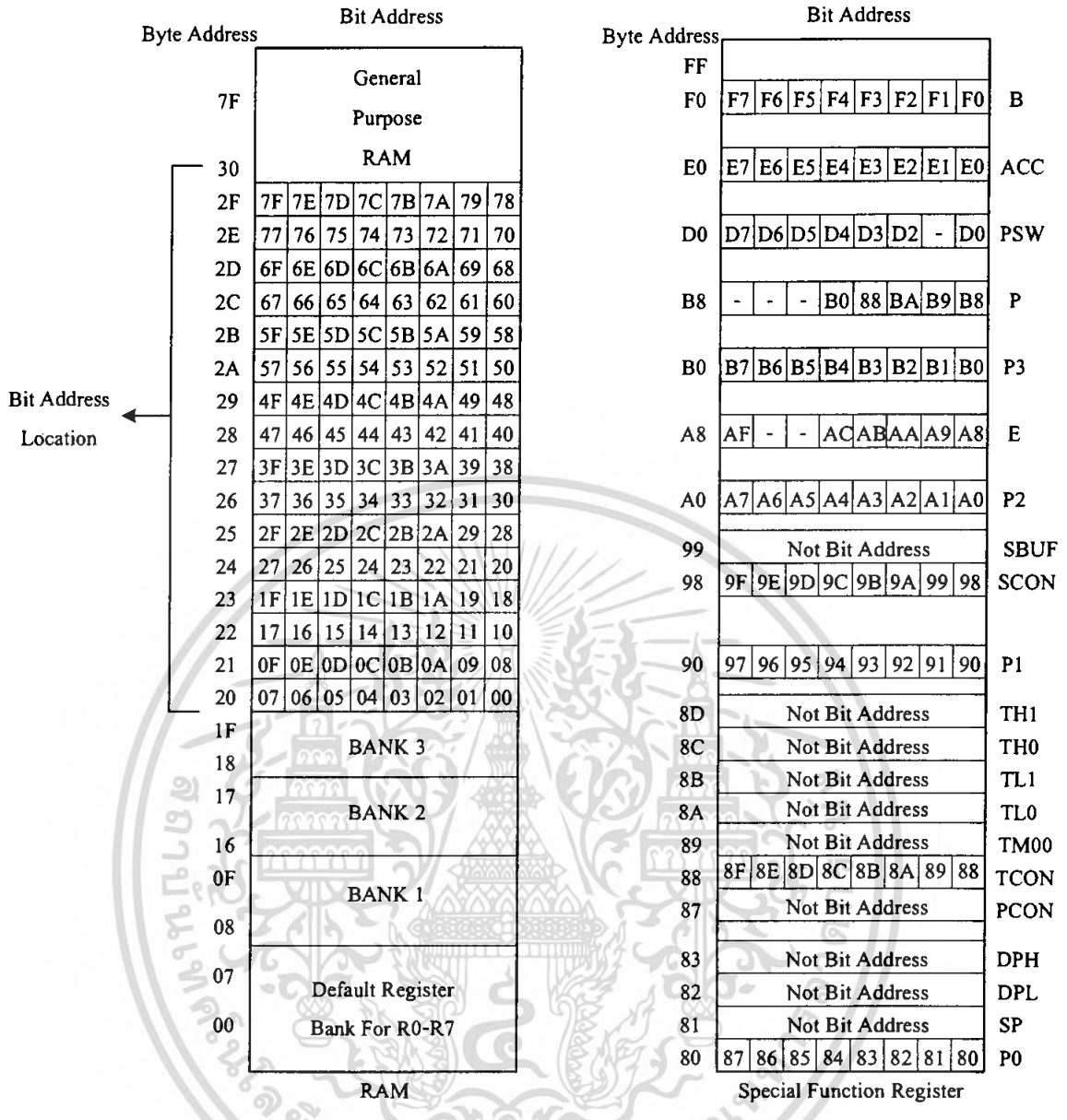
2.หน่วยความจำที่สามารถเข้าถึงข้อมูลระดับบิตได้ ตำแหน่ง 20H ถึง 2FH

3.หน่วยความจำใช้งานทั่วไปตำแหน่ง 30H ถึง 7FH

4.รีจีสเตอร์ฟังก์ชั่นพิเศษ ตำแหน่ง 80H ถึง FFH

แผนผังการจัดการหน่วยความจำข้อมูลภายใน แสดงได้ดังรูปที่ 2.34 จากแผนผังแสดงถึง การอ้างตำแหน่ง หน่วยความจำภายในซึ่งอ้างได้ 2 แบบ ได้แก่ การอ้างไปที่ตำแหน่งของไบท์ (เขียนหมายเลขด้านนอก) หรือการอ้างไปที่ตำแหน่งของบิต (เขียนหมายเลขตำแหน่งด้านใน) โดยตำแหน่งของหน่วยความจำ ที่อ้างเป็นแบบบิตที่แน่นอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.34 ตำแหน่งของหน่วยความจำแบบไบท์และแบบบิต

2.11.7 หน่วยความจำใช้งานทั่วไป

จากรูปที่ 2.34 แสดงถึง หน่วยความจำแรม สำหรับใช้งานทั่วไปจำนวน 80 ไบท์ ตั้งแต่ ตำแหน่ง 30H ถึง 7FH ซึ่งตำแหน่งนี้สามารถอ้างตำแหน่ง Direct Addressing Mode หรือ Indirect Addressing Mode ได้ ตัวอย่าง เช่น ถ้าอ่านข้อมูลที่อยู่ในตำแหน่ง 5FH มาเก็บใน รีจีสเตอร์ A สามารถเขียนคำสั่งได้ดังนี้

```
MOV A,5FH
```

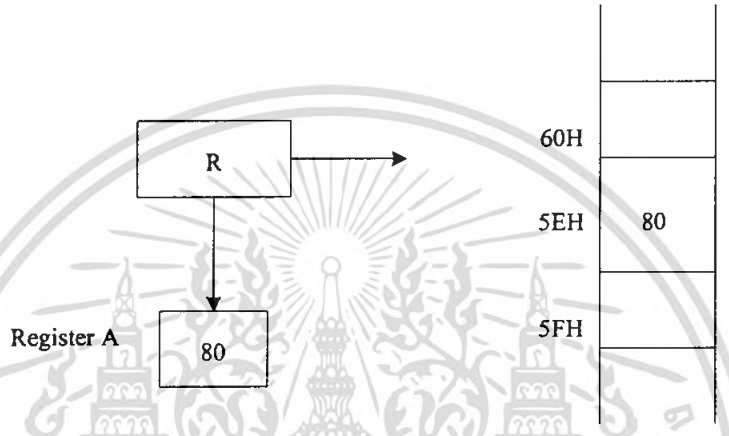
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การย้ายข้อมูลนี้เป็นการย้ายข้อมูลจากตำแหน่งที่เก็บโดยตรง (ตำแหน่ง 5FH) เป็นการอ้างตำแหน่งแบบ Direct Addressing Mode ซึ่งสามารถอ่านข้อมูลโดยใช้รีจีสเตอร์ R0 หรือ R1 ที่ตัวชี้ตำแหน่งได้ เป็นการอ้างตำแหน่งแบบ Indirect Addressing Mode ตัวอย่างเช่น

MOV R0,#5FH

MOV A,@R0

การเขียนโปรแกรมนี้ หมายถึง เก็บค่า 5FH ไว้ใน R0 จากนั้นอ่านค่าที่ R0 ชี้อยู่คือตำแหน่ง 5FH มาเก็บไว้ที่รีจีสเตอร์ A ถ้าในตำแหน่ง 5FH มี 80 อยู่ ค่า 80 ถูกเก็บใน A ดังรูปที่ 2.35



รูปที่ 2.35 ขั้นตอนต่าง ๆ ในการอ่านข้อมูล

2.11.8 Bit - addressable RAM

ใน MCS-51 มีหน่วยความจำซึ่งสามารถอ้างข้อมูลในระดับบิตได้ตั้งแต่ตำแหน่ง 20H ถึง 2FH รวม 16 ไบท์ โดยสามารถ SET , CLEAR , AND , OR ทางลอจิกได้ จำนวนบิตที่ใช้งานได้ทั้งหมดมีจำนวน 128 บิต (8บิต X 16ไบท์) เมื่อต้องการรีเซตบิตตำแหน่งที่ 67H สามารถเขียนคำสั่งได้ดังนี้

SETB 67H

จากรูปที่ 2.34 แสดงบิตที่ 67H อยู่ในตำแหน่งไบต์ที่ 2CH

2.11.9 ชุดรีจีสเตอร์ (Register Banks)

หน่วยความจำข้อมูลภายใน ที่ใช้เป็นชุดรีจีสเตอร์ มีทั้งหมด 32 ตำแหน่ง โดยมี 4 ชุด แต่ละชุดมีรีจีสเตอร์ 8 ตัว คือ R0 ถึง R7 โดยชุดแรกอยู่ในตำแหน่ง 00H - 07H เมื่ออ่านค่าจากตำแหน่ง 05H มาเก็บไว้ในรีจีสเตอร์ A เขียนโปรแกรมได้ดังนี้

MOV A,R5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การอ้างตำแหน่งแบบ Register Addressing ซึ่งขนาดของรหัสคำสั่งมีขนาด 1 ไบท์ ถ้าเขียนคำสั่งเป็น MOV A,05H ผลที่ได้เหมือนกัน แต่การเขียนแบบนี้ถ้าแปลงเป็นรหัสคำสั่ง มีขนาด 2 ไบท์ ซึ่งทำโปรแกรมยาวกว่าแบบแรกในการติดต่อกับรีจีสเตอร์ชุดนั้น สามารถเลือกให้ชุดใด แอคทีฟได้โดยเขียนข้อมูลไปที่ Program Status Word ซึ่งอยู่ในส่วนของรีจีสเตอร์ฟังก์ชั่นพิเศษ เช่น ถ้าโปรแกรมให้ ชุด 3 แอคทีฟ ย้ายข้อมูลจากรีจีสเตอร์ A ไปที่ตำแหน่ง 18H ได้ดังนี้

MOV R0,A

ถ้าไม่มีการเลือกชุดเป็นการติดต่อกับรีจีสเตอร์ชุดแรกเสมอ

2.11.10 รีจีสเตอร์ฟังก์ชั่นพิเศษ (Special Function Register)

ใน MCS-51 รีจีสเตอร์ใช้หน่วยความจำแรมภายในชิพ โดยส่วนหนึ่งเป็น รีจีสเตอร์พิเศษ ซึ่งมีทั้งหมด 21 ตัว โดยรีจีสเตอร์พิเศษต่างๆ เริ่มที่หน่วยความจำ ตั้งแต่ 80H ถึง FFH ซึ่งมีทั้งหมด 128 ตำแหน่ง แต่เป็นรีจีสเตอร์ฟังก์ชั่นพิเศษ เพียง 21 ตำแหน่ง หากเป็น8032 / 8051 ใช้ 26 ตำแหน่ง หรือมี SFR 26 ตัว จากรูปที่ 2.34 แสดงตำแหน่งหน่วยความจำของรีจีสเตอร์ บางตัวสามารถเข้าถึงข้อมูลแบบบิตได้ เช่นถ้าเขียนโปรแกรมเป็น

SETB 0E0H

เป็นการรีเซตบิต 0 ของ Accumulator เนื่องจากตำแหน่ง E0H เป็นตำแหน่งของรีจีสเตอร์ A และเป็นตำแหน่งบิตแรกของ รีจีสเตอร์ A ด้วย คำสั่ง SETB (Set Bit) มีผลต่อบิตเท่านั้น แต่ไม่มีผลต่อไบต์ หากต้องการติดต่อกับพอร์ท 1 ซึ่งไบท์ของพอร์ท 1 อยู่ที่ตำแหน่ง 90H แต่ตำแหน่งของระดับบิตอยู่ที่ตำแหน่ง 90H ถึง 97H รีจีสเตอร์ในกลุ่มรีจีสเตอร์ฟังก์ชั่นพิเศษมีดังนี้

2.11.11 Program Status Word

รีจีสเตอร์นี้เรียกย่อ ๆ ว่า PSW อยู่ที่ตำแหน่ง D0H ซึ่งสามารถเข้าถึงข้อมูลระดับบิตได้โดยรีจีสเตอร์นี้เป็นตัวบอกสภาวะต่าง ๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ ความหมายของแต่ละบิตแสดงได้ดังตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แสดงบิตและหน้าที่ต่าง ๆ ใน PSW

บิต	ชื่อบิต	ตำแหน่ง	ความหมาย
PSW.7	CYH	D7H	Carry Flag
PSW.6	AC	D6H	Auxiliary Carry Flag
PSW.5	F0	D5H	Flag 0
PSW.4	RS1	D4H	บิตสำหรับเลือก Register Bank 1
PSW.3	RS0	D3H	บิตสำหรับเลือก Register Bank 0
			00 = Bank 0 ; Address 00H – 07H 01 = Bank 1 ; Address 08H – 0FH 10 = Bank 2 ; Address 10H – 17H 11 = Bank 3 ; Address 18H – 1fH
PSW.2	OV	D2H	Overflow Flag
Psw.1	-	D1H	Reserved
PSW.0	P	D0H	Even Parity Flag

1. แฟลกตัวทด Carry Flag (CF) บิตนี้เป็นบิตที่ 7 ของ PSW บิตนี้มีความสำคัญหากมีการกระทำทางคณิตศาสตร์โดยบิตนี้รีเซต เมื่อเกิดการทดของบิตที่ 7 ขณะทำการบวกเลข หรือ รีเซต เมื่อเกิดการยืมของบิตที่ 7 เมื่อเกิดการลบเลข ตัวอย่างเช่น ถ้าค่าใน Accumulator มีค่าเป็น FFH แล้วทำคำสั่งนี้

ADD A,#1

ค่าใน Accumulator เปลี่ยนเป็น 00H และบิต CY ใน PSW ถูกรีเซตนอกจากนี้ บิต CY สามารถใช้เป็น "Boolean Accumulator" ได้ซึ่งเป็น รีจีสเตอร์ขนาด 1 บิตได้ ตัวอย่างเช่น ถ้า AND บิตที่ 25H กับ CY ผลลัพธ์ที่ได้ถูกเก็บใน CY ซึ่งเขียนคำสั่งได้ดังนี้

2. แฟลกตัวช่วยทด Auxiliary Carry Flag เมื่อมีการบวกแบบ Binary -Code -Decimal (BCD) บิต Auxiliary Carry Flag(AC) หรือบิตตัวช่วยทดถูกรีเซต เมื่อมีการทดจากบิตที่ 3ไปบิตที่ 4 หรือถ้าใน Lower Nibble มีค่าระหว่าง 0AH-0FH เนื่องจากรหัส BCD มีค่าได้มากที่สุดแค่ 9 ถ้ามีการบวกเลขแบบ BCD ต้องตามด้วยคำสั่ง DAA (Decimal Adjust Accumulator) เพื่อปรับค่าที่มีค่าเกิน 9 โดยบวกเลข 6 เข้าไป สามารถเป็นรหัส BCD ที่แทนเลขฐานสิบได้

3. แฟลกศูนย์ Flag 0 เป็น Flag ที่ผู้ใช้สามารถใช้งานทั่วไปได้

4. บิตเลือกชุดรีจีสเตอร์ (Register Bank Select Bits) ใน MCS-51 มีชุดรีจีสเตอร์อยู่ 4 ชุด ถ้าเลือกให้ชุดใดแอคทีฟกำหนดได้ในบิต RS1 และ RS2 ของ PSW และเคลียร์ตัวเองเมื่อระบบถูกรีเซต ถ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องการติดต่อกับรีจีสเตอร์ ชุด 3 โดยย้ายข้อมูลจาก R7 (ตำแหน่ง 1FH) มาเก็บใน Accumulator เขียนโปรแกรมได้ดังนี้

```
SETB RS1
SETB RS0
MOV A,R7
```

ในโปรแกรม Assembled สามารถรับรู้สัญลักษณ์ RS1 และ RS2 ได้ เช่น คำสั่ง SETB RS1 มีความหมายเท่ากับ SETB0D4H หรือรีเซตบิตตำแหน่งที่ D4H

5. แฟลกค่าเกิน Overflow Flag แฟลก OV ถูกรีเซต หลังจากการกระทำทางคณิตศาสตร์แล้วเกิด Overflow คือ จำนวนที่เกิดจากการบวกหรือการลบ มีค่าเกินกว่าที่จำนวนไบท์เป็นไปได้คือ มากกว่า +128 หรือน้อยกว่า -125 ตัวอย่างเช่น ถ้าเกิดการบวกเลขสองจำนวนนี้เกิดการรีเซตบิต OV ขึ้นใน PSW

6. บิตพาริตี้ (Parity Bit) พาริตี้บิต(P) เป็นบิตที่แสดงค่าพาริตี้ของรีจีสเตอร์ Accumulator ซึ่งอาจเป็นตัวตรวจสอบความถูกต้อง ของข้อมูลได้ โดยรีเซตหรือเคลียร์ขึ้นกับ Accumulator เช่น ถ้า Accumulator มีค่า 10101101B บิต p เป็น "1"

2.11.12 รีจีสเตอร์ B (B Register)

รีจีสเตอร์ B อยู่ตำแหน่ง F0H ของหน่วยความจำข้อมูลภายใน เป็นรีจีสเตอร์ที่สามารถใช้งานทั่วไปได้ โดยทั่วไปรีจีสเตอร์นี้ใช้คูณหรือหารกับรีจิสเตอร์ Accumulator เช่นการทำคำสั่ง MUL AB ซึ่งเป็นการคูณแบบ 8 บิตโดยผลลัพธ์ที่ได้มีขนาด 16 บิต ซึ่งรีจีสเตอร์ A เก็บค่า 8 บิตต่ำ และรีจีสเตอร์ B เก็บค่า 8 บิตสูง สำหรับการหารโดยการทำคำสั่ง DIV AB โดยค่าใน A ถูกหารด้วย B ผลลัพธ์ที่ได้เก็บในรีจีสเตอร์ AB โดย B เก็บค่า 8 บิตต่ำ และ A เก็บค่า 8บิตสูง รีจีสเตอร์ B นี้สามารถเข้าถึงข้อมูลระดับบิตได้ โดยตำแหน่งของบิตคือตำแหน่ง F0H ถึง F7H

2.11.13 ตัวชี้สแตค (Stack Pointer)

Stack Pointer (SP) เป็นรีจีสเตอร์ขนาด 8 บิต อยู่ตำแหน่ง 81H การเขียนค่าเข้าไปในตำแหน่งที่ SP ชี้อยู่นี้ เป็นการ "Pushing" สำหรับการอ่านค่าที่ SP ชี้อยู่ เป็นการ "Poping" ค่าของ SP เพิ่มขึ้นหนึ่งก่อนที่เขียนข้อมูลลงไป และลดลงหนึ่งเมื่ออ่านข้อมูลออกไป หากโปรแกรมทำคำสั่ง Call ใช้รีจีสเตอร์สแตคนี้เก็บค่าตำแหน่งเดิมของโปรแกรม (PC) ก่อนทำโปรแกรมย่อย เมื่อทำโปรแกรมย่อยเสร็จแล้ว คืนค่าในสแตคให้กับ PC ตามเดิม โดยปกติค่า PC กำหนดให้อยู่ในแรมภายใน ต้องการให้มี SP เริ่มที่ตำแหน่ง 60H ต้องเขียนคำสั่งดังนี้

```
MOV SP,#5FH
```

การเขียนคำสั่งหากใช้กับเบอร์ 8031/ 8051 เก็บค่าสแตคได้ 32 ไบท์ เพราะหน่วยความจำของแรมภายในสิ้นสุดที่ 7FH แต่กำหนดให้ SP มีค่าเท่ากับ 5FH ซึ่งเริ่มใช้งานที่ตำแหน่ง 60H ถ้า MCS - 51 ถูกรีเซต ค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SP ถูกกำหนดเองเป็น 07H ซึ่งทับกับรีจีสเตอร์ชุด 1 ถ้างานที่ออกแบบขึ้น ต้องใช้ รีจีสเตอร์ชุด 1 ด้วยควรกำหนดค่า SP ก่อน

2.11.14 รีจีสเตอร์ Data Pointer (DPTR)

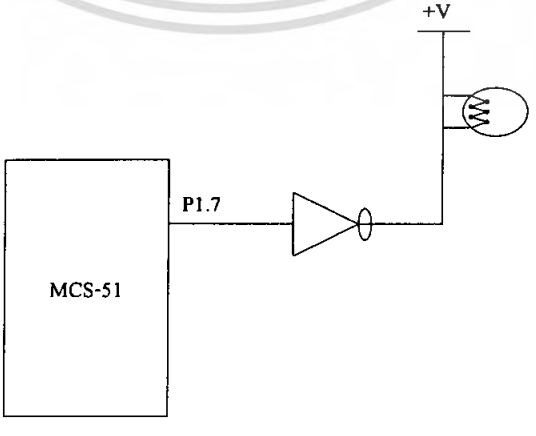
รีจีสเตอร์นี้ใช้สำหรับ ชี้ตำแหน่งรหัสโปรแกรม หรือ ข้อมูลในหน่วยความจำ โดยเป็นรีจีสเตอร์ขนาด 16 บิต ซึ่งประกอบด้วยรีจีสเตอร์ 2 ตัว คือ DPL ตำแหน่งที่ 82H โดยเก็บเป็น 8 บิตต่ำ และ DPH ตำแหน่งที่ 83H โดยเก็บค่า 8 บิตสูง รีจีสเตอร์ทั้งสองตัวนี้รวมกันกเป็นรีจีสเตอร์ 16 บิต ถ้าต้องการเก็บค่า 55H ไปยังตำแหน่งของหน่วยความจำข้อมูลภายนอกตำแหน่งที่ 1000H เขียนโปรแกรมได้ดังนี้

```
MOV A,#55H
MOV DPTR#1000H
MOVX @DPTR,A
```

ในบรรทัดแรกเป็นการอ้างตำแหน่งแบบ Immediate Addressing ซึ่งเก็บค่า 55H ลงในรีจีสเตอร์ A จากนั้นเก็บค่า 1000H ลงในรีจีสเตอร์ 1 บิต DPTR เพื่อชี้ไปที่ตำแหน่งหน่วยความจำบรรทัดที่ 3 เป็นการอ้างตำแหน่งแบบ Indirect Addressing ซึ่งเก็บค่าใน A คือ 55H ลงในตำแหน่งที่ DPTR ชี้อยู่คือตำแหน่ง 1000H

2.11.15 รีจีสเตอร์พอร์ท (Port Registers)

ใน MCS- 51 ค่าของพอร์ทเป็นค่าของหน่วยความจำ หากต้องการส่งข้อมูลจากพอร์ท ทำการอ่านค่าในตำแหน่งที่หน่วยความจำที่พอร์ทนั้น ใน MCS-51 พอร์ท 0 อยู่ที่ตำแหน่ง 80H ,พอร์ท 1 อยู่ที่ตำแหน่ง 90H , พอร์ท 2 อยู่ที่ตำแหน่ง A0H และพอร์ท 3 อยู่ที่ตำแหน่ง B0H พอร์ท 0 , 2 และ 3 โดยทั่วไปไม่ใช้ หากมีการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก หรือใช้เป็นพอร์ทพิเศษ (เช่น Interrupts , Serial Port) โดยปกติแล้วใช้ พอร์ท 1 ในการติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก พอร์ททุกพอร์ทสามารถอ้างถึงข้อมูลในระดับบิตได้ ตัวอย่าง เช่นถ้าพอร์ท 1 บิต 7 ต่อกับหลอดไฟไว้ดังรูปที่ 2.35 โดยมีเกตแบบ OC ช่วยขับกระแสการปิดเปิดหลอดไฟทำได้โดยการรีเซตหรือเคลียร์บิต 7 ของพอร์ท 1 นี้



รูปที่ 2.35 การใช้ MCS-51 ปิด-เปิดหลอดไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องการเปิดไฟคำสั่งดังนี้

SETB P1.7

ต้องการปิดไฟคำสั่งดังนี้

CLR P1.7

การติดต่อกับพอร์ทในระดับนี้ ซึ่งใช้คำสั่งในการอ้างข้อมูลระดับบิตได้ เช่น บิต 7 ของพอร์ท 1 ตรงกับตำแหน่งระดับบิต คือ ตำแหน่ง 97H เขียนคำสั่งได้ดังนี้

CLR 97H

2.11.16 รีจีสเตอร์เวลา (Timer Registers)

ใน MCS - 51 เบอร์ 8051 มีรีจีสเตอร์ที่ใช้นับ และจับเวลาขนาด 16 บิต 2 ตัวคือ Timer 0 อยู่ที่ตำแหน่ง 8AH และ 8CH โดยตำแหน่ง 8AH หมายถึง TL0 ซึ่งเป็น 8 ไบท์ต่ำ และ 8CH หมายถึง 8 ไบท์สูง TH0 รีจีสเตอร์อีกตัวคือ Timer 1 โดยแบ่งเป็น TL1 อยู่ที่ตำแหน่ง 8BH เป็นไบต์ต่ำและ TH1 อยู่ที่ตำแหน่ง 8DH เป็นไบท์สูง การใช้ Timer ต้องกำหนดการทำงานในรีจีสเตอร์ TMOD (Timer / Counter Mode Control Register) ซึ่งอยู่ที่ตำแหน่ง 88H ก่อน

2.11.17 พอร์ทอนุกรม (Serial Port Register)

MCS - 51 มีพอร์ทสื่อสารอนุกรมอยู่ภายในชิพ ซึ่งสามารถรับหรือส่งข้อมูลแบบอนุกรมให้เขียนข้อมูลไปที่รีจิสเตอร์ SBUF (Serial Data Buffer) ซึ่งอยู่ที่ตำแหน่ง 99H ถ้าต้องการส่งข้อมูลแบบอนุกรมให้เขียนข้อมูลไปที่รีจีสเตอร์นี้ พอร์ทอนุกรมสามารถโปรแกรมให้ทำงานได้ 4 โหมด โดยโปรแกรมผ่านรีจีสเตอร์ SCON (Serial Port Control Register) ตำแหน่ง 98H

2.11.18 อินเทอร์รัพท์ (Interrupt Port Register)

MCS - 51 สามารถอินเทอร์รัพท์ได้ 5 ตำแหน่ง โดยมี 2-priorily ตัว อินเทอร์รัพท์ทำการ Disable หลังจากระบบได้รีเซต และ Enabled หลังจากที่เขียนข้อมูลไปที่รีจีสเตอร์ IE หรือตำแหน่ง A8H ลำดับความสำคัญสามารถรีเซตได้ที่รีจีสเตอร์ IP หรือตำแหน่ง B8H

2.11.19 Control Register (PCON)

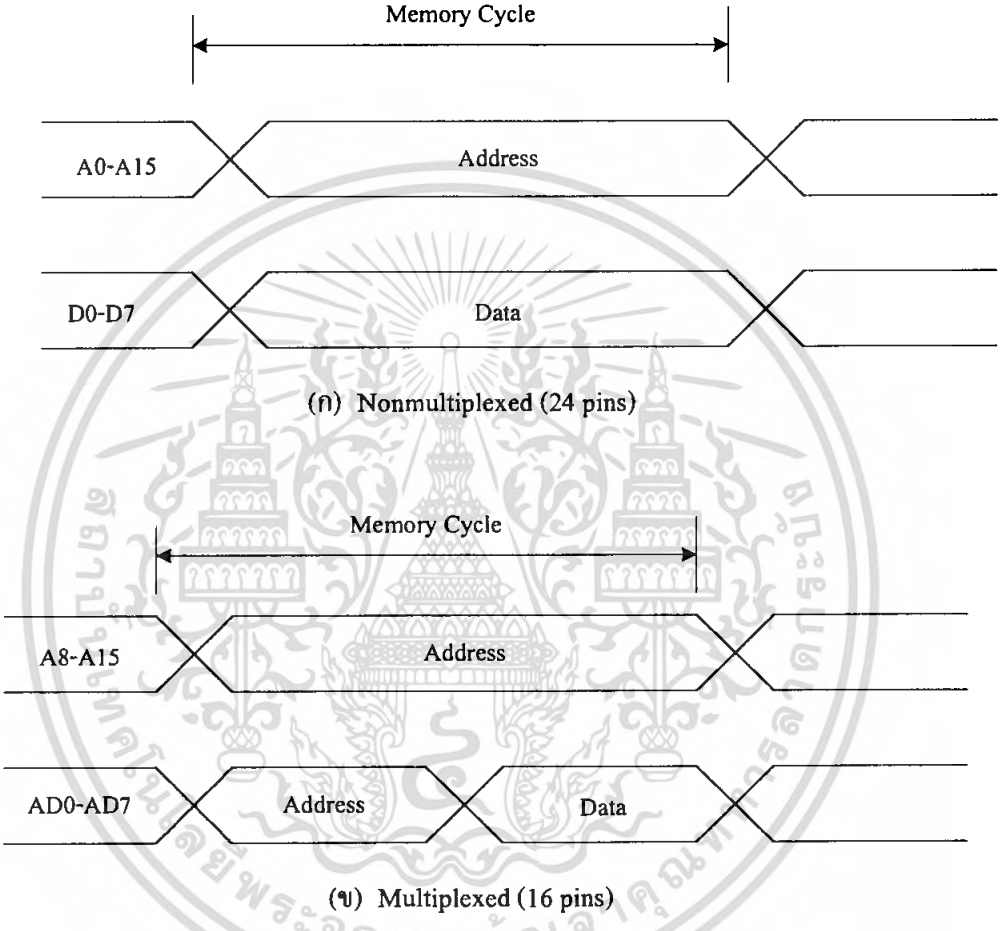
รีจีสเตอร์ PCON อยู่ที่ตำแหน่ง 87H ใช้หยุดการทำงานของ MCS - 51 โดยหยุดจ่ายสัญญาณนาฬิกาให้ระบบ ทำให้ข้อมูลต่างๆ ภายใน MCS - 51 ไม่มีการเปลี่ยนแปลงซึ่งสามารถลดพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้MCS-51ลง

2.11.20 หน่วยความจำภายนอก (External Memory)

MCS-51 สามารถอ้างหน่วยความจำข้อมูลภายนอกได้ 64 กิโลไบท์ MCS-51 ใช้พอร์ท 0 ในการอ้างตำแหน่งหน่วยความจำ 8 บิตล่าง และใช้พอร์ท 0 เป็นพอร์ทข้อมูลด้วย โดยใช้ขา ALE เป็น Latch ข้อมูลพอร์ท 0 และใช้พอร์ท 2 เป็นขาอ้างตำแหน่ง 8 บิตบน (รวมขาอ้างตำแหน่ง 16 เส้น ซึ่งอ้างได้ 64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิโลไบท์) นอกจากพอร์ท 0 ใช้งาน 2 หน้าที่ ในการติดต่อกับหน่วยความจำ ใช้วิธีมัลติเพล็กท์ระหว่างตำแหน่งกับข้อมูล ถ้าต้องการติดต่อกับหน่วยความจำที่เก็บข้อมูล 8 บิต และเก็บได้ 64 กิโลไบท์ ต้องใช้สายสัญญาณ 24 เส้นเป็นขาแอดเดรส 16 เส้น และขาข้อมูล 8 เส้น ดังรูปที่ 2.36 ถ้าใช้วิธีมัลติเพล็กท์ ใช้ขา A0 - A7 เป็นขาข้อมูล D0- D7 ใช้สายสัญญาณเพียง 16 เส้น รูปที่ 2.36 เมื่อต้องการติดต่อกับหน่วยความจำทำการส่งสัญญาณแอดเดรส A0 -A15 ออก 16 เส้น จากนั้นขา A0-A7 เปลี่ยนเป็น D0- D7 ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก MCS - 51 ใช้วิธีนี้

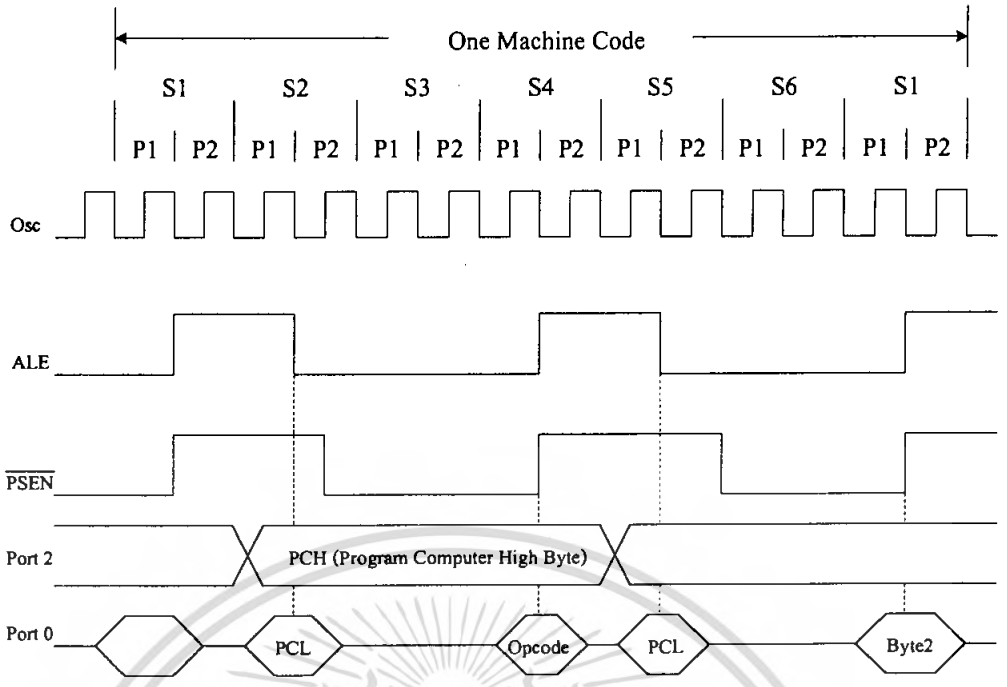


รูปที่ 2.36 ไดอะแกรมกลุ่มสัญญาณที่ใช้อ่านข้อมูล

2.11.21 การติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก

การอ่านข้อมูลที่หน่วยความจำโปรแกรมภายนอก MCS - 51 ส่งค่าตำแหน่งหน่วยความจำออกไป ซึ่งค่าตำแหน่งเก็บอยู่ใน PC ส่งออกทางพอร์ท 0 และพอร์ท 2 จากนั้นส่งขา ALE เป็นลอจิก "0" เพื่อLatch ขาแอดเดรส ของ 8 บิตต่ำคือพอร์ท 0 และส่งสัญญาณทางขา PSEN เป็นลอจิก " 0 " เพื่ออ่านข้อมูลซึ่งได้ Opcode เข้าไปทางขาบัสข้อมูล คือพอร์ท 0 ไดอะแกรมเวลาการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำภายนอกแสดงได้ดังรูปที่ 2.37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

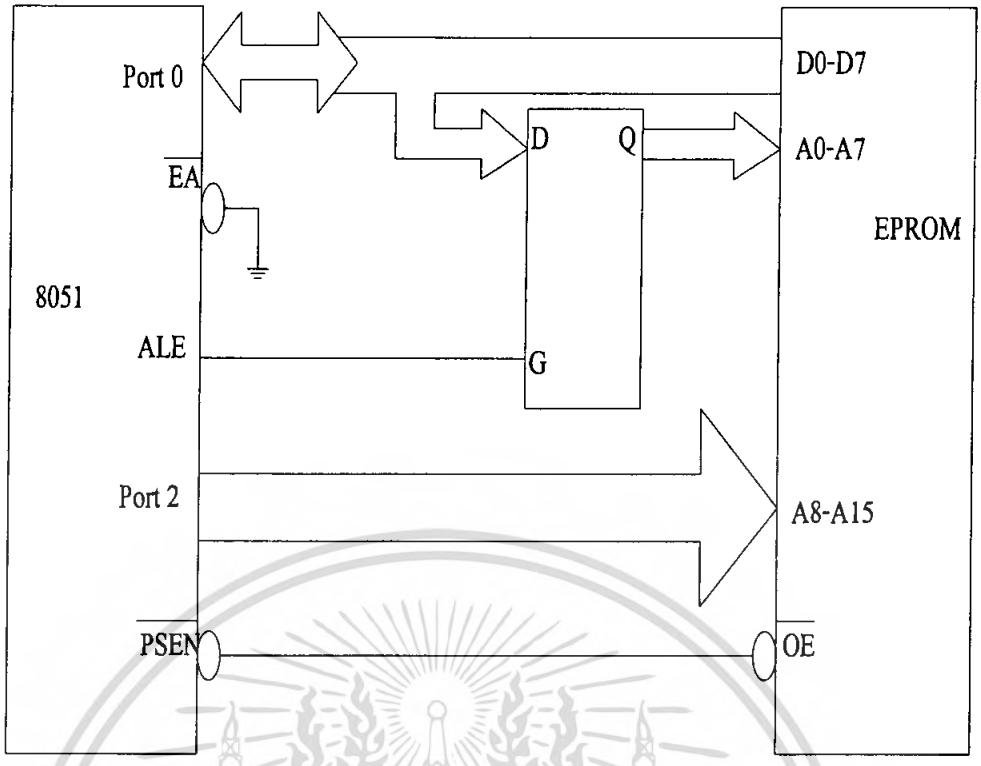


รูปที่ 2.37 ไดอะแกรมการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก

รูปที่ 2.37 ช่วงเวลาการทำงานของ MCS - 51 ใน S2 MCS - 51 ส่งค่าตำแหน่งหน่วยความจำโปรแกรม (ค่า PC) ทางพอร์ท 0 และ พอร์ท 2 จากนั้นส่งขา ALE เป็น " 0 " เพื่อ Latch อุปกรณ์ภายนอกคงค่าตำแหน่งไบท์ต่ำไว้ (พอร์ท 0) เพื่อใช้พอร์ท 0 เป็นขาข้อมูลต่อไป จากนั้นส่งขา PSEN เป็น " 0 " เพื่ออ่าน Opcode เข้าทางพอร์ท 0

การต่อหน่วยความจำกับ MCS - 51 แสดงได้ดังรูปที่ 14 โดยขา $\overline{EA}$ ต่อเป็น "0" เพื่อให้ MCS - 51 อ่านหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกสำหรับการ มัลติเพล็กท์ ใช้ฟลิปฟลอป 8 ตัวเบอร์ 74373 เก็บค่าตำแหน่ง 8 บิตต่ำไว้ เมื่อ MCS - 51 ส่งค่าตำแหน่งพอร์ทออกไปจากนั้นส่งขา ALE ให้เป็น "0" ซึ่งใช้ขานี้ต่อกับ 74373 เพื่อ Latch ข้อมูลสำหรับขา $\overline{PSEN}$ ต่อกับขา Output Enable $(\overline{OE})$ ของหน่วยความจำดังรูปที่ 2.38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

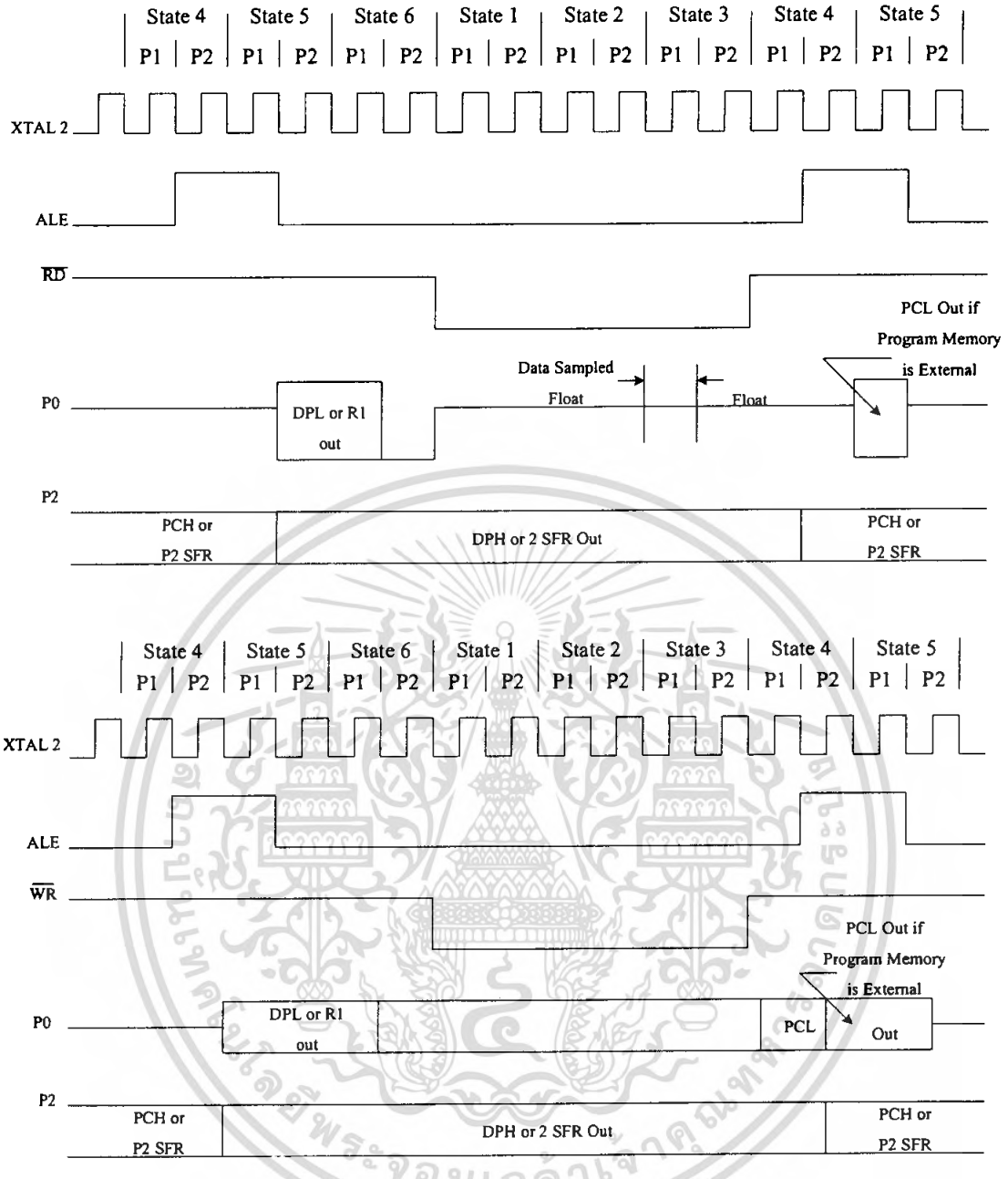


รูปที่ 2.38 การต่อ MCS - 51 กับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก

2.11.22 การติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอก

หน่วยความจำข้อมูลภายนอก MCS - 51 สามารถอ่าน และ เขียนได้ ในการติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอก MCS - 51 ส่งขาแอดเดรส ออกทางพอร์ท 0 และ พอร์ท 2 จากนั้นส่งขา ALE เพื่อไป Latch Address 8 บิตต่ำ โดยการอ่านเขียนข้อมูลนั้นใช้ขา $\overline{RD}$ หรือ P3.7 และขา $\overline{WR}$ หรือ P3.6 ตามลำดับ ไดอะแกรมเวลาการอ่านและเขียนข้อมูลกับหน่วยความจำภายนอกแสดงดังรูปที่ 2.39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



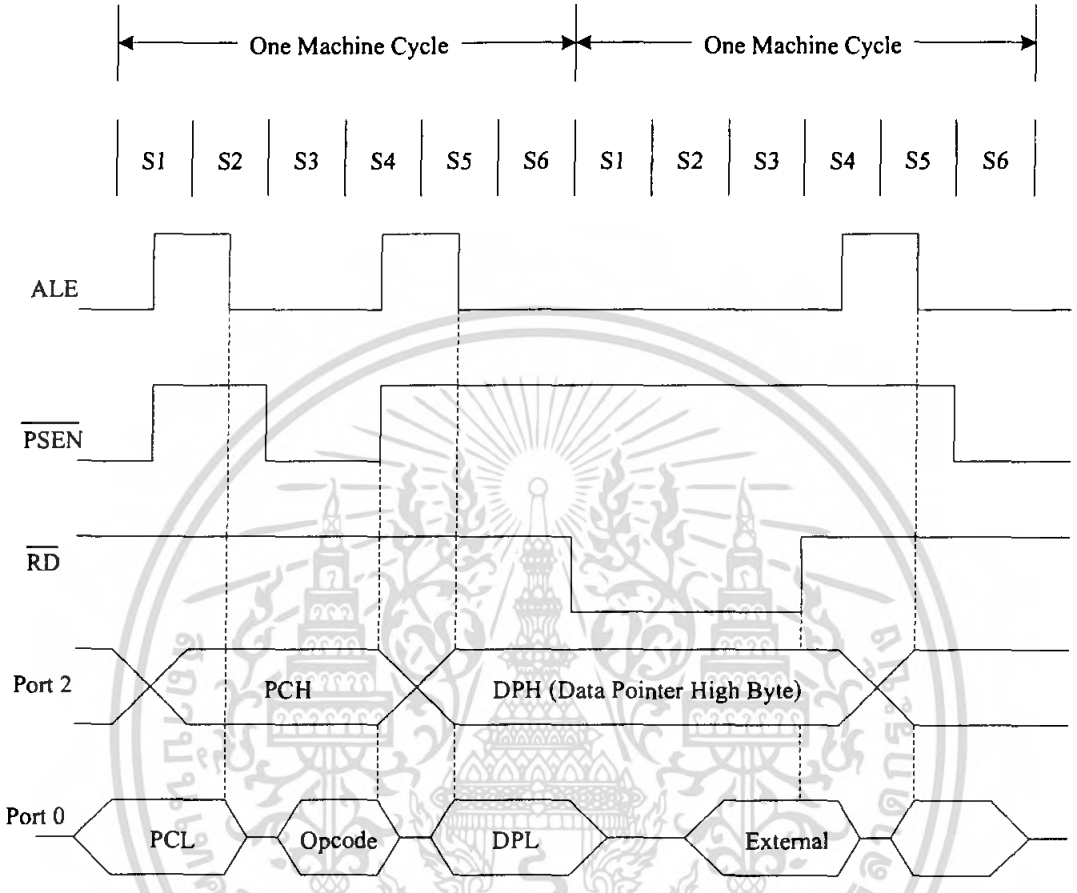
รูปที่ 2.39 ไดอะแกรมเวลาการอ่านและเขียนข้อมูลกับหน่วยความจำภายนอก

ตำแหน่งของหน่วยความจำภายนอกมีได้ถึง 64 กิโลไบท์ ชุดรีจีสเตอร์ที่ใช้เก็บค่าตำแหน่งของหน่วยความจำภายนอกใช้ชุดรีจีสเตอร์ 16 บิต คือ DPTR ใช้รีจีสเตอร์ 8 บิตได้ 2 ตัว คือ R0 และ R1 ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกใช้คำสั่ง MOVX

ถ้า MCS - 51 ทำคำสั่ง MOVX A , @DPTR หมายถึงให้อ่านค่าในตำแหน่งที่ DPTR ชี้อยู่ เก็บในชุดรีจีสเตอร์ A ไดอะแกรมเวลาเป็นดังรูปที่ 2.16 โดย Machine Cycle แรกเป็นการอ่านค่า Opcode ของโปรแกรม ให้ทำคำสั่ง MOVX A , @DPTR ซึ่งการอ่านค่าโปรแกรมได้ Opcode เข้ามา จากนั้น MCS - 51 อ่านข้อมูลตำแหน่งที่ DPTR ชี้อยู่ใน Machine Cycle ต่อไปนำค่า DPTR ส่งออกเป็นค่าแอดเดรส โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

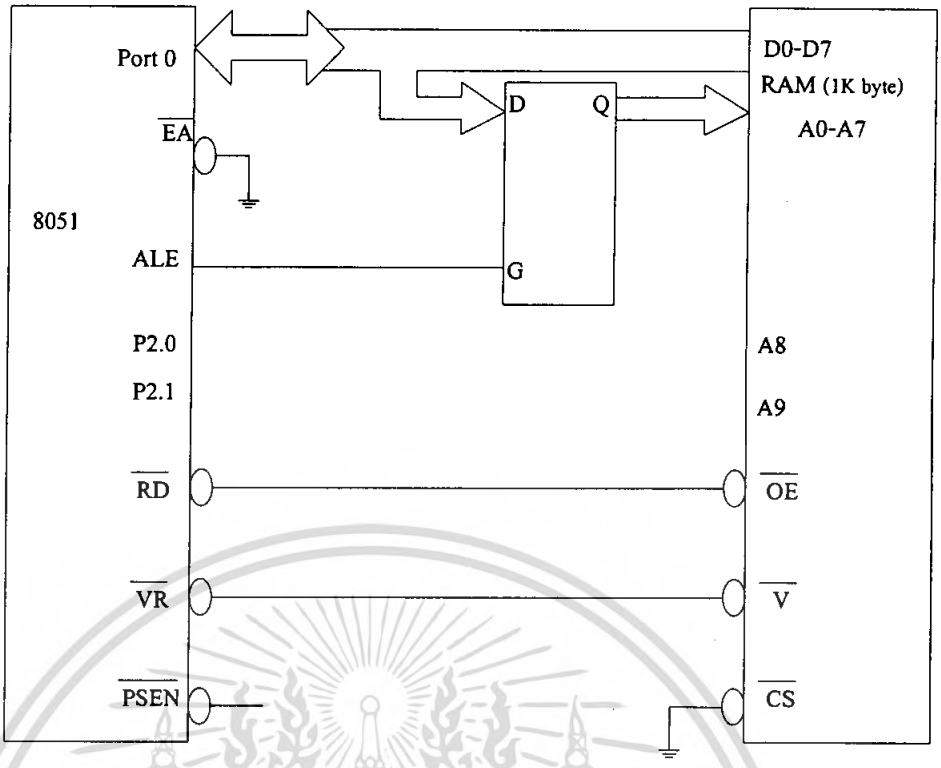
DPH ส่งออกทางพอร์ท 2 และ DPL ส่งออกทางพอร์ท 0 จากนั้นขา ALE เป็น "0" เพื่อ Latch ข้อมูลแอดเดรส 8 บิตต่ำ และ $\overline{RD}$ เป็น "0" จากนั้นข้อมูลอ่านเข้าทางบัสข้อมูลคือพอร์ท 0 ไดอะแกรมเวลาการทำงานแสดงได้ดังรูปที่ 2.40



รูปที่ 2.40 สัญญาณต่างๆ ที่เกิดขึ้นขณะทำคำสั่ง MOVX

การเชื่อมต่อหน่วยความจำข้อมูลกับ MCS-51 ให้ 8051 ทำงานกับหน่วยความจำแสดงได้ดังรูปที่ 17 เป็นการเชื่อมต่อแรมขนาด 1 กิโลไบท์ ใช้ขา แอดเดรส เพียง 10 เส้น ดังนั้น A8 และ A9 ต่อกับ P2.0 และ P2.1 ส่วนขา $\overline{EA}$ ต่อกับลอจิก "1" เพื่อให้อ่านโปรแกรมจากรอมภายใน และขา $\overline{PSEN}$ ไม่ใช้เพราะไม่ได้ต่อรอมแสดงได้ดังรูปที่ 2.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



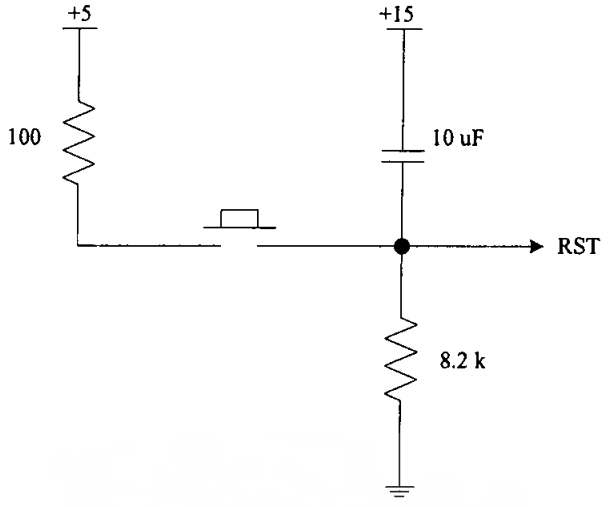
รูปที่ 2.41 การต่อหน่วยความจำโปรแกรมกับ MCS-51

ข้อสังเกตขนาดที่ MCS-51 ติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรม หรือหน่วยความจำข้อมูลภายนอกใช้ขาแอดเดรส เหมือนกัน ต่างกันที่ ถ้าติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมขา $\overline{PSEN}$ ทำการแอคทีฟ ถ้าติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลขา $\overline{WR}$, $\overline{RD}$ ทำการแอคทีฟและ MCS-51 ติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมด้วยคำสั่งMOVCและติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลด้วยคำสั่งMOVX

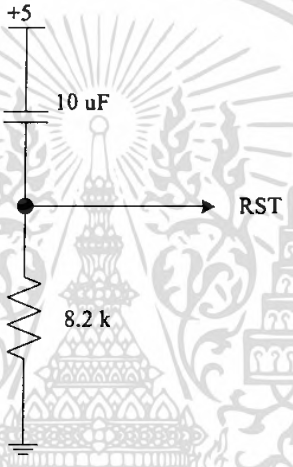
2.11.23 Reset Operation

การรีเซตหรือเริ่มต้นทำงานใหม่ของ MCS-51 ให้ลอจิก "1" ที่ขา RST เป็นเวลา 2 Machine Cycles (1 Machine Cycle เท่ากับ 12 Clock) จากนั้นให้กลับเป็นลอจิก "0" การรีเซตอาจทำได้โดยใช้สวิตซ์กด ดังรูปที่ 2.42(ก) หรือใช้วิธี Power-up โดยใช้ตัว R-C ต่อเป็นวงจรดังรูปที่ 2.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) Manual Reset



(ข) Power-on Reset

รูปที่ 2.42 การรีเซต MCS-51

เมื่อ MCS-51 ถูกรีเซตค่ารีจีสเตอร์ต่างๆถูกกำหนดค่า โดย PC อยู่ที่ตำแหน่ง เริ่มต้น คือ 0000H เมื่อขา RST กลับเป็น "0" MCS -51 เริ่มทำโปรแกรมที่ตำแหน่งแรก

2.12 TRW 2.4GHz

TRW 2.4 GHz เป็นโมดูลสำหรับรับส่งคลื่นวิทยุในย่านความถี่ 2.4 -2.5 GHz ซึ่งใช้กระแสไฟฟ้าน้อย โดยภายในของตัวโมดูลนั้นจะประกอบไปด้วย เสาอากาศ, ตัวอนุพันธ์ความถี่, ตัวขยายกำลัง,คริสตอล ออสซิลเลเตอร์และมอดูเลเตอร์

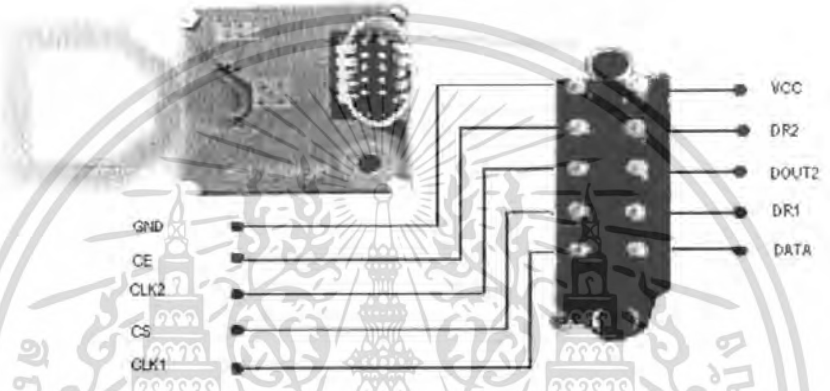
2.12.1. คุณสมบัติของโมดูล TRW 2.4 GHz

- ใช้คลื่นวิทยุในย่านความถี่ 2.4-2.5 GHz
- มีการมอดูเลตแบบ GFSK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มีอัตราการส่งข้อมูล 1 Mbps และ 250kbps
- มีขนาดเล็กและบางเพียง 20.0*36.7*2.4mm
- สามารถทำงานได้ในอุณหภูมิช่วง -40 ~ +85 องศาเซลเซียส
- มี เอาท์พุตเพาเวอร์ +4 dBm
- มีการรับส่งข้อมูลแบบสองทิศทาง

2.12.2. การจัดขาของโมดูล TRW 2.4 GHz และหน้าที่การทำงาน



รูปที่ 2.43 แสดงการจัดขาของ TRW 2.4 GHz

ตารางที่ 2.3 แสดงขาของ TRW2.4 GHz และรายละเอียด

Pin	Name	Pin function	Description
1	GND	Power	Ground (0V)
2	CE	Input	ยอมให้โหมด Rx หรือ Tx ทำงาน
3	CLK2	I/O	สัญญาณนาฬิกา เอาท์พุต/อินพุต สำหรับ Rx data channel 2
4	CS	Input	เลือก Configuration Mode
5	CLK1	I/O	สัญญาณนาฬิกาอินพุต(Tx) และI/O(Rx) สำหรับ data channel 1 3-wire interface
6	DATA	I/O	Rx data channel 1/Tx data input/3-wire interface
7	DR1	Output	Rx data ready ที่ channel 1(ShockBurst only)
8	DOUT2	Output	Rx data channel 2
9	DR2	Output	Rx data ready ที่ channel 2(ShockBurst only)
10	VCC	Power	Power supply +3V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12.3 ประเภทของ Data Package

รูปที่ 2.44 แสดง Data Package Diagram

Data Package สำหรับช็อคเบิร์สท์โหมด(Shockburst Mode) และไดเรคโหมด (Direct Mode) นั้นจะประกอบด้วย 4ส่วน คือ

PRE-AMBLE

ในส่วนPRE-AMBLE นั้นจะเป็นส่วนที่ต้องการของทั้ง ShockBurst Mode และ Direct Mode ซึ่งจะมีความยาว 8 หรือ 4 บิต นั้นขึ้นอยู่กับบิตข้อมูลตัวแรกในDirect Mode และในShockBurst Mode นั้น PRE-AMBLE จะถูกเพิ่มเข้าไปโดยอัตโนมัติ ดังนั้นจะมีพื้นที่ว่างพิเศษสำหรับส่วน payload และ PRE-AMBLE นั้นจะถูกตัดทิ้งออกไปในส่วนของข้อมูลฝั่งรับ แต่ว่าใน Direct Mode นั้นส่วนPRE-AMBLE จะยังคงอยู่

ADDRESS

ส่วนADDRESS นั้นจะต้องการสำหรับ ShockBurst Mode จะมีความยาว 8 ถึง 40 บิต และจะถูกตัดทิ้งออกไปในข้อมูลฝั่งรับสำหรับในShockBurst Mode แต่ว่าในDirect Mode นั้นส่วน ADDRESS จะยังคงอยู่

PAYLOAD

เป็นส่วนสำหรับส่งข้อมูล ในShockBurst Mode นั้นส่วนของPayload จะมีขนาด 256บิต แต่จะต้องลบส่วนต่อไปนี้ออก(Address :8ถึง40บิต + CRC 8หรือ 16บิต) สำหรับ Direct Mode นั้นส่วนของ Payload จะถูกกำหนดโดย 1Mbps สำหรับ 4 ms : 4000 บิต โดยลบส่วนต่างๆต่อไปนี้(Pre-amble : 8 หรือ 4 บิต + Address: 8 ถึง 40 บิต + CRC 0,8 หรือ 16บิต)

CRC

ส่วนของCRC นั้นเป็นส่วนเพิ่มมาสำหรับ ShockBurst Mode แต่ว่าจะไม่ใช้ในส่วนของ Direct Mode จะมีความยาว 8 หรือ 16 บิต และจะถูกตัดออกในส่วนของข้อมูลฝั่งรับ

2.13 โหมดการทำงานของ TRW 2.4 GHz

สามารถแบ่งการทำงานออกเป็น 3 โหมด หลักได้แก่

- Active(Rx/Tx) Mode เมื่อ ขา CE=1 และ ขาCS=0
- Configuration Mode เมื่อ ขา CE=0 และ ขาCS=1
- Stand by Mode เมื่อ ขา CE=0 และ ขาCS=0

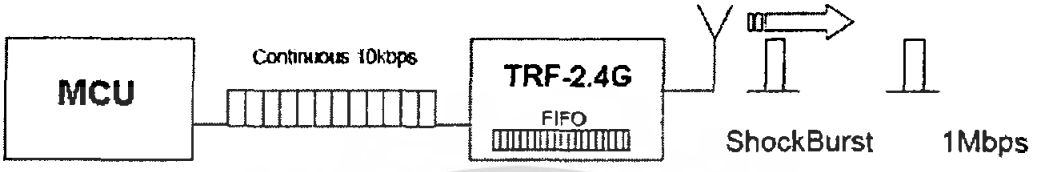
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13.1 Active(Rx/Tx) Mode

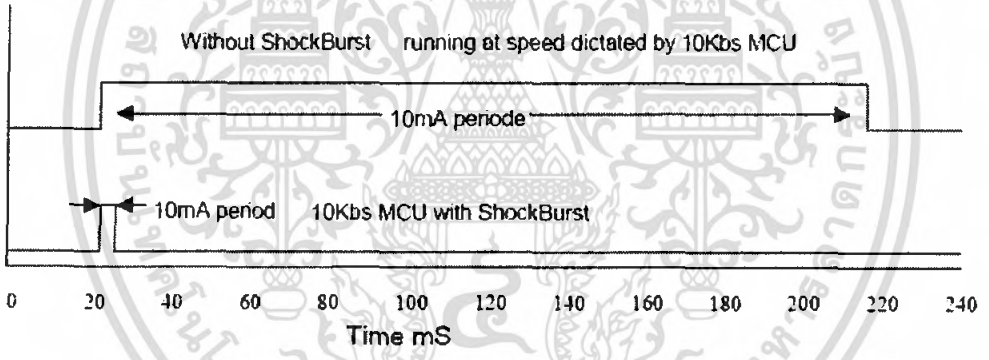
ในโหมดการทำงานแบ่งการทำงานเป็น 2 โหมดคือ ShockBurst Mode และ Active Mode

2.13.1.1 ShockBurst Mode

เป็นการรับข้อมูลด้วยอัตราเร็วต่ำแต่ว่าจะส่งข้อมูลด้วยอัตราเร็วที่สูง(1 Mbps) ดังนั้นจึงทำให้เป็นการลดการใช้กำลังงานลงได้



รูปที่ 2.45 แสดงการรับข้อมูลด้วยอัตราเร็วต่ำ(10kbps)แต่ส่งด้วยอัตราเร็วสูง(1 Mbps)



รูปที่ 2.46 แสดงการใช้กระแสไฟฟ้าของการส่งแบบShockBurst และแบบธรรมดา

ShockBurst Mode Timing

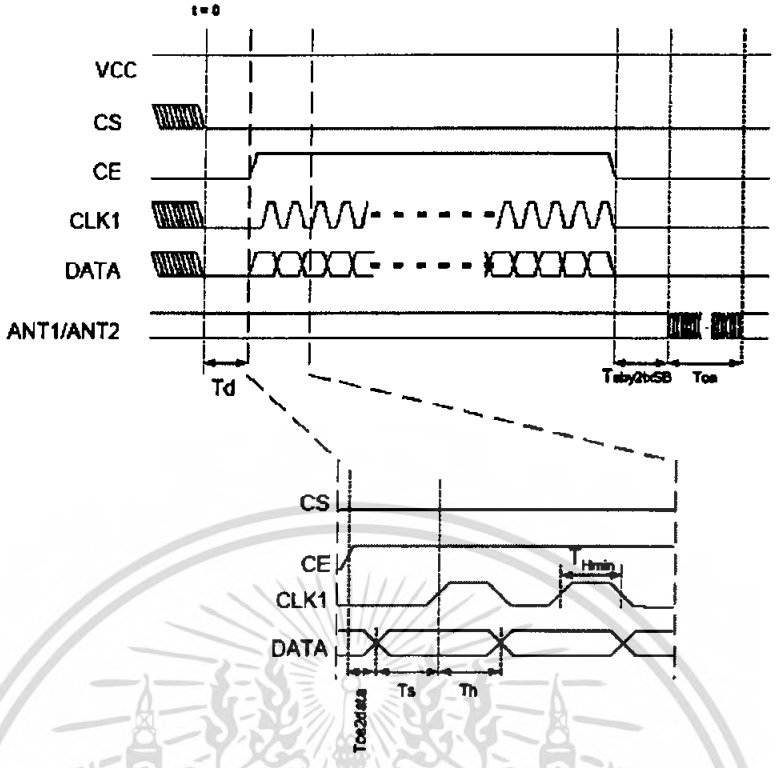
ShockBurst Tx:

ข้อมูลนั้นจะถูกดีเลย์ T_{OA} ดังสมการ

$$T_{OA} = 1/datarate * (\#databits + 1)$$

*T_{OA}= time on air

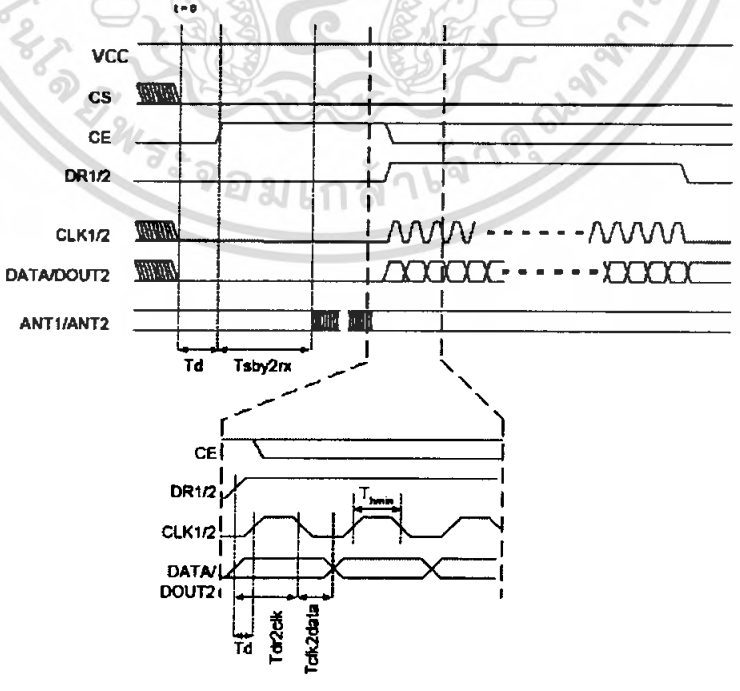
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.47 แสดงไดอะแกรมเวลาของ ShockBurst in Tx

ShockBurst Rx:

ขาCE จะรักษาสถานะสูงไว้ขณะทำการโหลดข้อมูล แต่ว่าจะใช้กระแสไฟมาก(18mA) และมีข้อดีคือไม่ต้องมี start-up time (200ไมโครวินาที) หลังจากDR1เปลี่ยนสถานะเป็นต่ำ



รูปที่ 2.48 แสดงไดอะแกรมเวลาของ ShockBurst in Rx

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

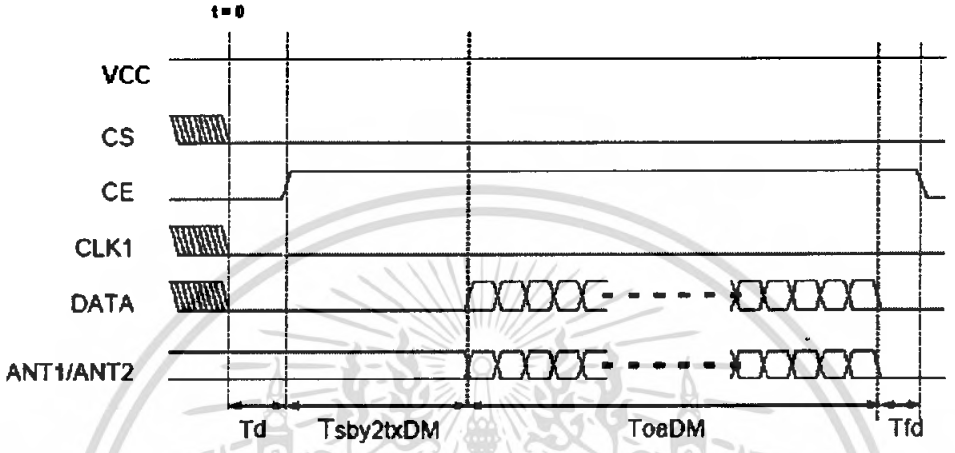
2.13.1.2 Direct Mode

ในโหมดนี้จะเป็นการรับส่งข้อมูลเหมือนกับการรับส่งข้อมูลแบบ RF ทั่วไป

Direct Mode Timing

Direct Mode Tx:

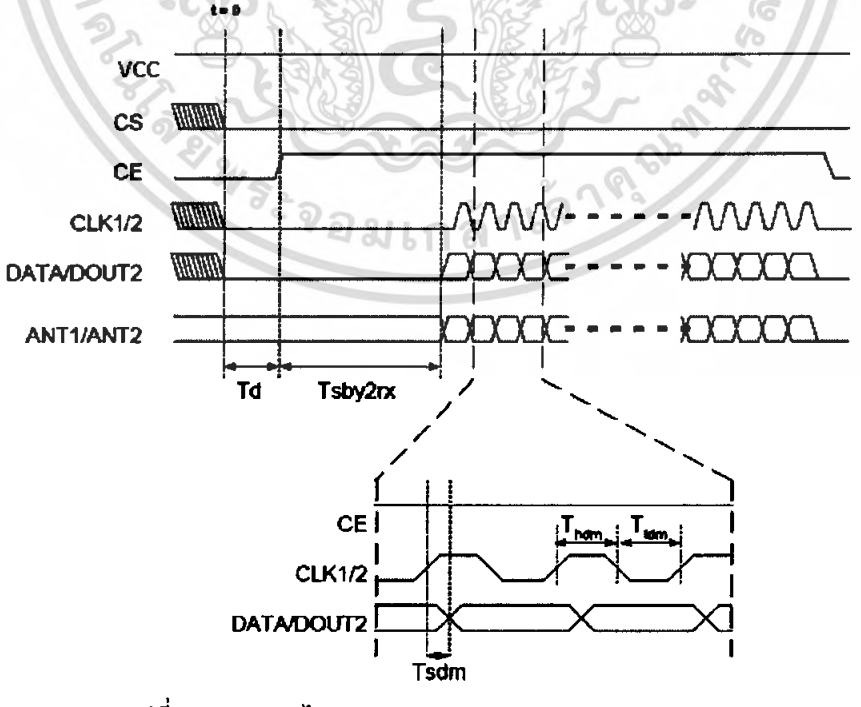
Input data นั้นจะถูกสุ่มโดย TRW 2.4 GHz ดังนั้นจะยังไม่ต้องการสัญญาณนาฬิกาในส่วนนี้ และสัญญาณจะถูกทำให้คงที่ในสถานะต่ำระหว่างการส่ง



รูปที่ 2.49 แสดงไดอะแกรมเวลาของ Direct Mode in Tx

Direct Mode Rx:

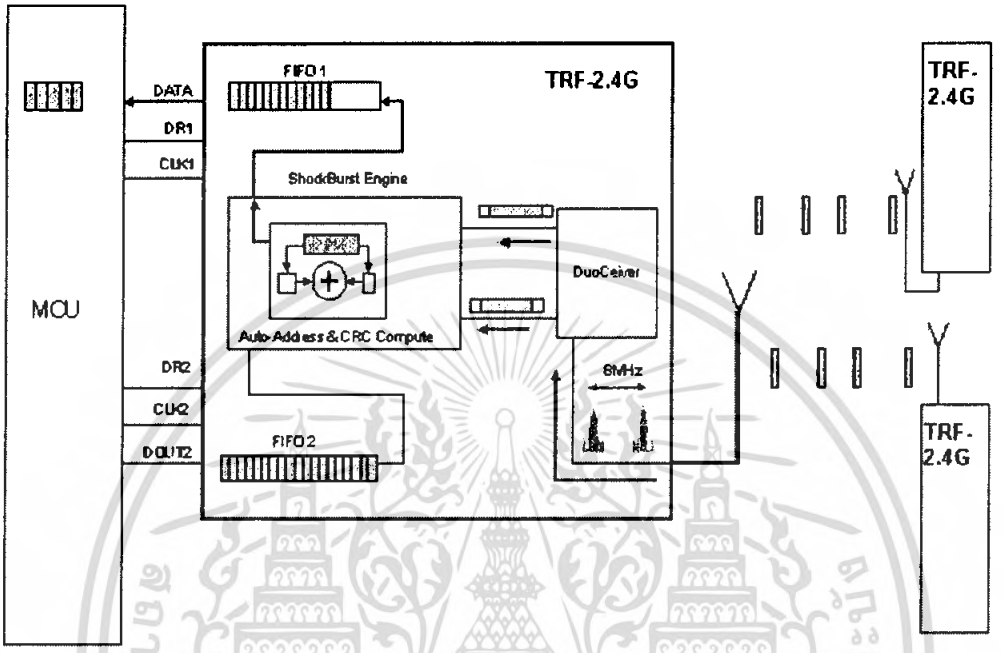
Tsby2rx คือ ช่วงดีเลย์จากด้านบวกของขาCEเพื่อที่จะเตรียมรับข้อมูลที่จะเข้ามาใหม่



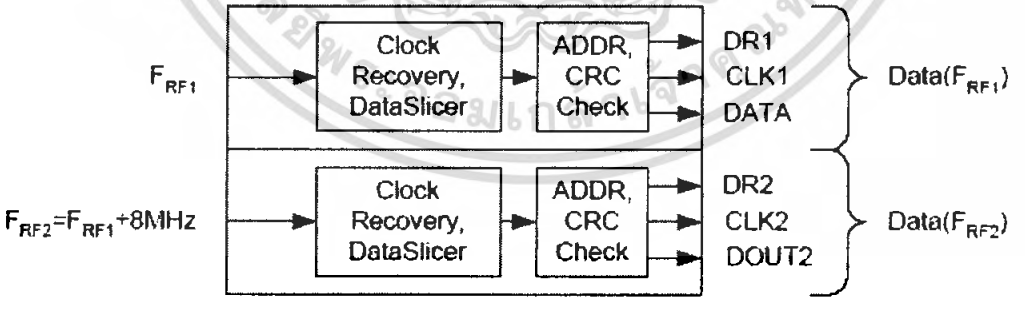
รูปที่ 2.50 แสดงไดอะแกรมเวลาของ Direct Mode in Rx

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทำงานของ ShockBurst Mode และ Direct Mode ทั้งสองนั้น ตัวโมดูล TRW 2.4 GHz สามารถทำการรับข้อมูลพร้อมกันสองความถี่ช่องทางในเวลาเดียวกันที่ต่างกันได้ด้วยอัตราเร็วสูงสุดโดย เป็นการทำงานของ DuoCeiver Mode โดยในการรับข้อมูลพร้อมกันของสองสัญญาณนั้น ช่องสัญญาณที่ สองจะต้องมีความถี่มากกว่าช่องสัญญาณที่หนึ่ง 8MHz จึงจะทำให้การรับสัญญาณทั้งสองนั้นสมบูรณ์



(a)



(b)

รูปที่ 2.51 แสดงการรับข้อมูลสองช่องสัญญาณพร้อมกัน(DuoCeiver Mode)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13.2 Configuration Mode

เป็นโหมดที่ใช้ในการตั้งค่าเพื่อเลือกใช้โหมดต่างๆ

Configuration for ShockBurst operation

จะต้องใช้พื้นที่จำนวน15 bytes สำหรับโหมดShockBurstนี้

Configuration for Direct Mode operation

จะใช้พื้นที่จำนวน 2 bytes สำหรับโหมด Direct นี้

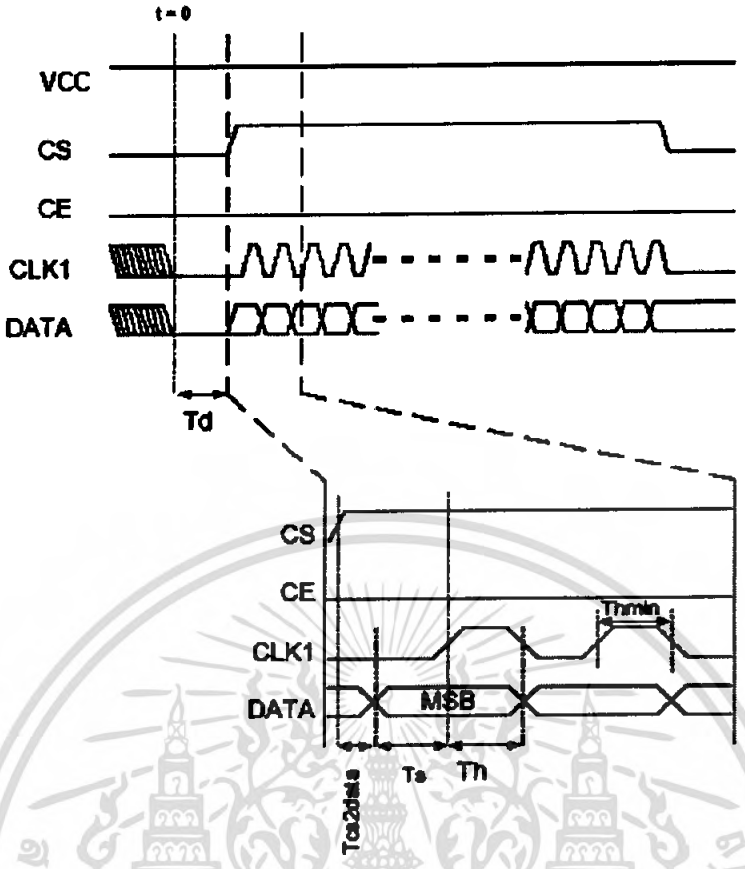
Configuration word ทั่วไป

Configuration word นั้นจะเริ่มเลื่อนจากบิต MSB ที่ขอบของขาCLK1 การ configuration ใหม่นั้นจะเริ่มขึ้นเมื่อขอบของCS ตกลง

ตารางที่ 2.4 แสดงConfiguration words

	Bit position	Number of bits	Name	Function
ShockBurst configuration	143:120	24	TEST	Reserved for testing
	119:112	8	DATA2_W	Length of data payload section RX channel 1
	111:104	8	DATA1_W	Length of data payload section RX channel 1
	103:64	40	ADDR2	Up to 5 bytes address for channel 2
	63:24	40	ADDR1	Up to 5 bytes address for channel 1
	23:18	6	ADDR_W	Number of address bits(both RX channels)
	17	1	CRC_L	8 or 16 bits CRC
	16	1	CRC_EN	Enable on-chip CRC generation/checking
General device configuration	15	1	RX2_EN	Enable two channel receive mode
	14	1	CM	Communication mode (Direct or ShockBurst)
	13	1	RFDR_SB	RF data rate (1Mbps requires 16MHz crystal)
	12:10	3	XO_F	Crystal frequency (Factory default 16MHz crystal mounted)
	9:8	2	RF_PWR	RF output power
	7:1	7	RF_CH#	Frequency channel
	0	1	RXEN	RX or TX operation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.52 แสดงไดอะแกรมเวลาสำหรับ configuration ของ TRW 2.4GHz

เมื่อมีการเข้าสู่โหมด configuration จากโหมด power down ขา CS จะถูกตั้งให้มีสถานะสูง หลังจากโหมด stand by

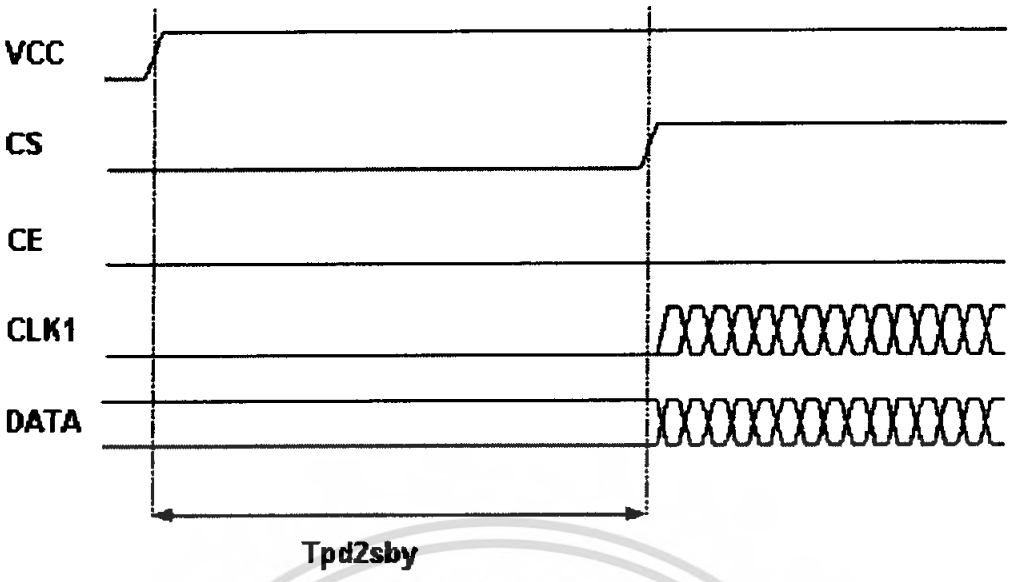
2.13.3 Stand by Mode

เป็นการใช้กระแสไฟต่ำในเวลาเริ่มต้นสั้นๆ ในโหมดนี้ส่วนของคริสตอลออสซิลเลเตอร์จะทำงาน โดยกระแสไฟที่ใช้นั้นจะขึ้นกับความถี่ของคริสตอล

2.13.3.1 Power Down Mode

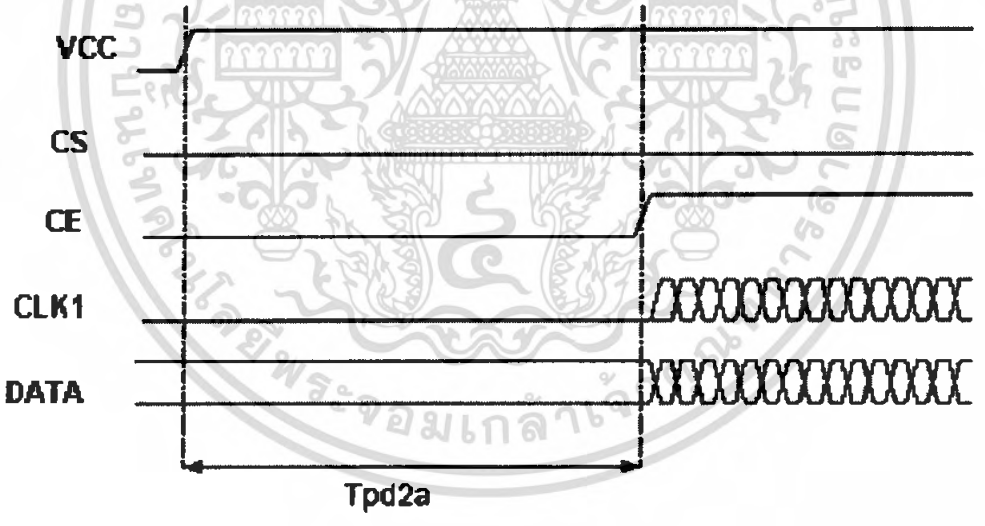
ตัวโมดูล TRW 2.4 GHzนี้ จะทำงานไม่ได้ถ้ากระแสไฟต่ำกว่า 1 A และการเข้าสู่การทำงานของโหมดนี้นั้นจะทำให้การใช้กระแสนั้นลดลง และทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.53 แสดงไดอะแกรมเวลาของ power down (VCC off) ไปยัง Standby Mode

เมื่อไม่มีพลังงานนั้นตัวโมดูลTRW 2.4 GHzจะเข้าสู่โหมด Stand by(Tpd2sby) ก่อนที่จะไปเข้าสู่โหมด configuration หรือ โหมดการทำงานอื่นๆ



รูปที่ 2.54 แสดงโหมด power down (VCC off) ไปยัง active mode

Configuration word นั้นจะหายไปเมื่อ VCC off และจะต้องมีการตั้งค่าก่อนที่จะเข้าไปทำงานในโหมดต่างๆ แต่ถ้ามีการตั้งค่าอยู่แล้วนั้นจะสามารถเข้าสู่โหมดที่เราต้องการจากโหมด power down โดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.14 การตั้งค่าโมดูลความถี่วิทยุ (TRW 2.4 GHz)

2.14.1 RF_CH# กับ RXEN

ตารางที่ 2.5 แสดงตำแหน่งบิตของช่องสัญญาณความถี่และโหมดการทำงาน

ชื่อ	RF_CH#							RXEN
ตำแหน่งบิต	7	6	5	4	3	2	1	0

RXEN เป็นตำแหน่งบิตที่ 0 ใช้กำหนดค่าให้ตัวโมดูลความถี่วิทยุให้ทำงานในภาครับหรือทำงานในภาคส่ง

ถ้าต้องการให้โมดูลทำหน้าที่เป็นตัวส่งต้องกำหนดให้บิต RXEN เป็น "0"

ถ้าต้องการให้โมดูลความถี่วิทยุทำหน้าที่เป็นตัวรับต้องกำหนดให้บิต RXEN เป็น "1"

RF_CH# เป็นตำแหน่งบิตที่ 1 ถึงบิต 7 จะเป็นบิตที่กำหนดความถี่ที่ใช้รับ/ส่งซึ่งมีความถี่ในช่วง 2400 เมกะเฮรตซ์ (MHz) – 2524 เมกะเฮิรตซ์ โดยคำนวณได้จากสูตรดังนี้

ช่องสัญญาณความถี่ = 2400 เมกะเฮิรตซ์ + [(RF_CH#)(1.0 เมกะเฮิรตซ์)]

ถ้าต้องการที่จะทำการส่งช่องสัญญาณสามารถคำนวณหาความถี่ที่ใช้ได้จากสูตรดังนี้

ช่องสัญญาณความถี่ = 2400 เมกะเฮิรตซ์ + [(RF_CH#)(1.0 เมกะเฮิรตซ์)] + 8 เมกะเฮิรตซ์

2.14.2 PF_PWR

ตารางที่ 2.6 แสดงการกำหนดค่ากำลังงานของภาคส่ง

กำลังงานของภาคส่ง		
D9	D8	P(dBm)
0	0	-20
0	1	-10
1	0	-5
1	1	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.14.3 vXO_F (fix)

ตารางที่ 2.7 แสดงการกำหนดค่าสถานะของตำแหน่งบิตที่ 10 ถึง 12

ตำแหน่งบิต	12	11	10
สถานะ	0	1	1

2.14.4 RFDR_SB

ตำแหน่งบิตที่ 13 โดยเป็นบิตที่ใช้เลือกอัตราการส่งผ่านข้อมูลของโมดูลความถี่วิทยุ

สถานะ 0 : อัตราการส่งผ่านข้อมูลเท่ากับ 250 กิโลบิตต่อวินาที

สถานะ 1 : อัตราการส่งผ่านข้อมูลเท่ากับ 1 เมกะบิตต่อวินาที

2.14.5 CM

ตำแหน่งบิตที่ 14 เป็นบิตที่เลือกโหมดการส่งข้อมูลกำหนดให้มีสถานะเป็น 1 เนื่องจากส่งข้อมูลในโหมด ShockBurst (0 : Direct mode)

2.14.6 RX2_En

ตำแหน่งบิตที่ 15 เป็นบิตที่เลือกจำนวนช่องสัญญาณของภาครับ

สถานะ 0 : จำนวน 1 ช่องสัญญาณ

สถานะ 1 : จำนวน 2 ช่องสัญญาณ

2.14.7 CRC_EN

ตำแหน่งบิตที่ 16 ใช้ในการกำหนดให้มีการสร้าง CRC สำหรับภาคส่ง และให้มีการตรวจสอบบิต CRC สำหรับภาครับ ถ้ากำหนดให้สถานะบิตเป็น 1

2.14.8 CRC_L

ตำแหน่งบิตที่ 17 ในการกำหนดความกว้างของบิต CRC

สถานะ 0 : ให้ CRC มีความกว้าง 8 บิต

สถานะ 1 : ให้ CRC มีความกว้าง 16 บิต

2.14.9 ADDR_W

ตำแหน่งที่ 18-23 ใช้ในการกำหนดจำนวนที่จองไว้สำหรับแอดเดรสภาครับ โดยที่จองไว้สูงสุดถึง 40 บิต 5 ไบต์ กำหนดให้มีจำนวนการจองบิตสูงสุดจะต้องกำหนดค่าดังแสดงในตารางดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.8 แสดงตารางการกำหนดค่า ADDR_W

ชื่อ	ADDR_W					
ตำแหน่งบิต	23	22	21	20	19	18
สถานะ	1	0	1	0	0	0

2.14.10 DDRx

เป็นตำแหน่งบิตที่ 24 – 63 ขนาด 40 บิต (5 ไบต์) ใช้ในการกำหนดแอดเดรสให้กับตัวรับในช่องสัญญาณที่ 1 คือ ADDR1 และตำแหน่งบิตที่ 64 – 103 (5ไบต์) ใช้ในการกำหนดแอดเดรสตัวรับในช่องสัญญาณที่ 2 คือ ADDR2

ตัวอย่าง การกำหนดแอดเดรสของตัวรับในช่องสัญญาณที่ 1

ตารางที่ 2.9 แสดงตัวอย่างการกำหนดแอดเดรสของตัวรับในช่องสัญญาณที่ 1

ชื่อ	ADDRx							
ตำแหน่งบิต	63	62	61	60	59	58	57	56
สถานะ	0	0	0	0	0	0	0	0
ตำแหน่งบิต	55	54	53	52	51	50	49	48
สถานะ	0	0	0	0	0	0	0	0
ตำแหน่งบิต	47	46	45	44	43	42	41	40
สถานะ	0	0	0	0	0	0	0	0
ตำแหน่งบิต	39	38	37	36	35	34	33	32
สถานะ	0	0	0	0	0	0	0	0
ตำแหน่งบิต	31	30	29	28	27	26	25	24
สถานะ	0	0	0	0	0	0	0	1

2.14.11 DATAx_W

ตำแหน่งบิตที่ 104 – 111 ขนาด 8 บิต ในการกำหนดความกว้างของบิตข้อมูลช่องสัญญาณที่ 1 ซึ่งก็คือ DATA1_W และใช้ตำแหน่งบิตที่ 112 – 119 ขนาด 8 บิต ในการกำหนดความกว้างของข้อมูลของช่องสัญญาณที่ 2

ตัวอย่าง การกำหนดขนาดข้อมูลเท่ากับ 8 bit ของช่องสัญญาณที่ 1 และ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.10 ตารางแสดงจำนวนความกว้างของบิตข้อมูลในช่องสัญญาณที่ 1

DATA1_W								
ตำแหน่งบิต	111	110	109	108	107	106	105	104
สถานะ	0	0	0	0	1	0	0	0

ตารางที่ 2.11 ตารางแสดงจำนวนความกว้างของบิตข้อมูลในช่องสัญญาณที่ 2

DATA2_W								
ตำแหน่งบิต	119	118	117	116	115	114	113	112
สถานะ	0	0	0	0	1	0	0	0

2.14.12 TEST

เป็นตำแหน่งบิตที่ 120 – 143 ขนาด 3 ไบต์โดยเป็นจำนวนบิตที่จองไว้สำรอง โดยได้กำหนดค่าดังนี้

ตารางที่ 2.12 ตารางแสดงการกำหนดค่าให้กับบิตที่ 120 – 143

ชื่อ	TEST							
ตำแหน่งบิต	143	142	141	140	139	138	137	136
สถานะ	1	0	0	0	1	1	1	0
ตำแหน่งบิต	135	134	133	132	131	130	129	128
สถานะ	0	0	0	0	1	0	0	0
ตำแหน่งบิต	127	126	125	124	123	122	121	120
สถานะ	0	0	0	1	1	1	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

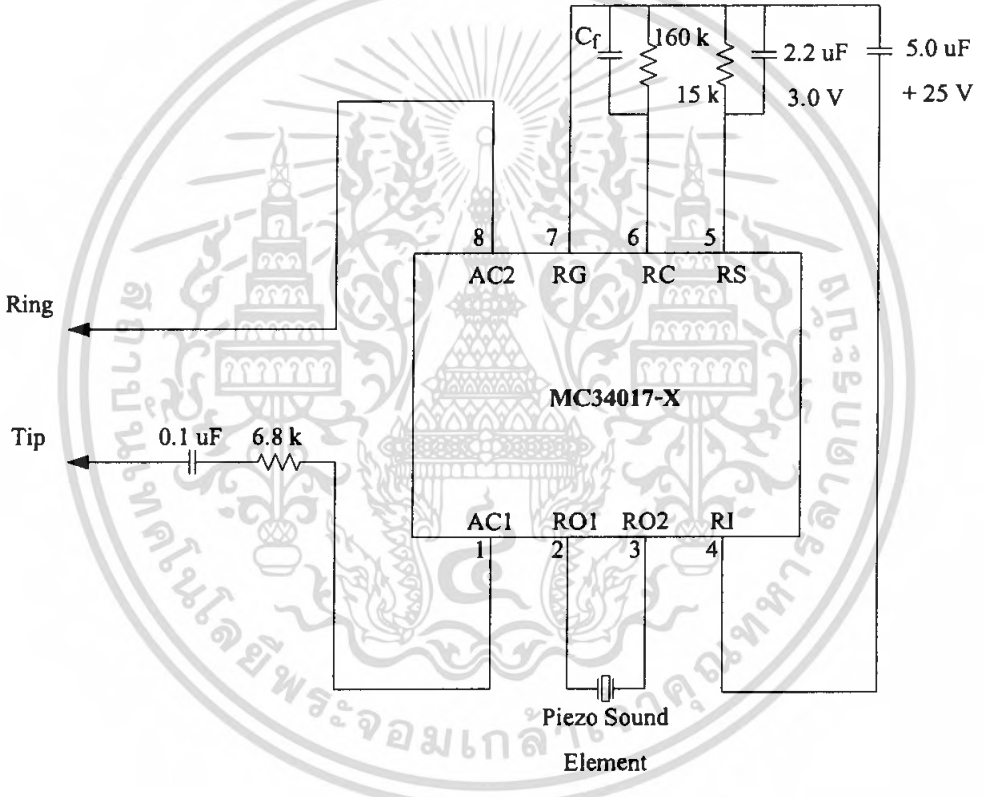
บทที่ 3
การคำนวณและการสร้าง

3.1 เครื่องโทรศัพท์

ในส่วนของเครื่องโทรศัพท์ สามารถสร้างเป็นวงจรในส่วนต่างๆ ได้ดังนี้

3.1.1 วงจรกำเนิดเสียงเรียก

วงจรกำเนิดเสียงเรียก ใช้ไอซี MC34017 แสดงดังรูปที่3.1 วงจรส่วนนี้เป็นวงจรที่เชื่อมระหว่างวงจรของเครื่องโทรศัพท์กับอุปกรณ์ของชุมสาย วงจรนี้จะกำเนิดเสียงเรียกเมื่อมีการติดต่อมาจากที่อื่น และจะถูกตัดออกไปเมื่อมีการยกหูโทรศัพท์

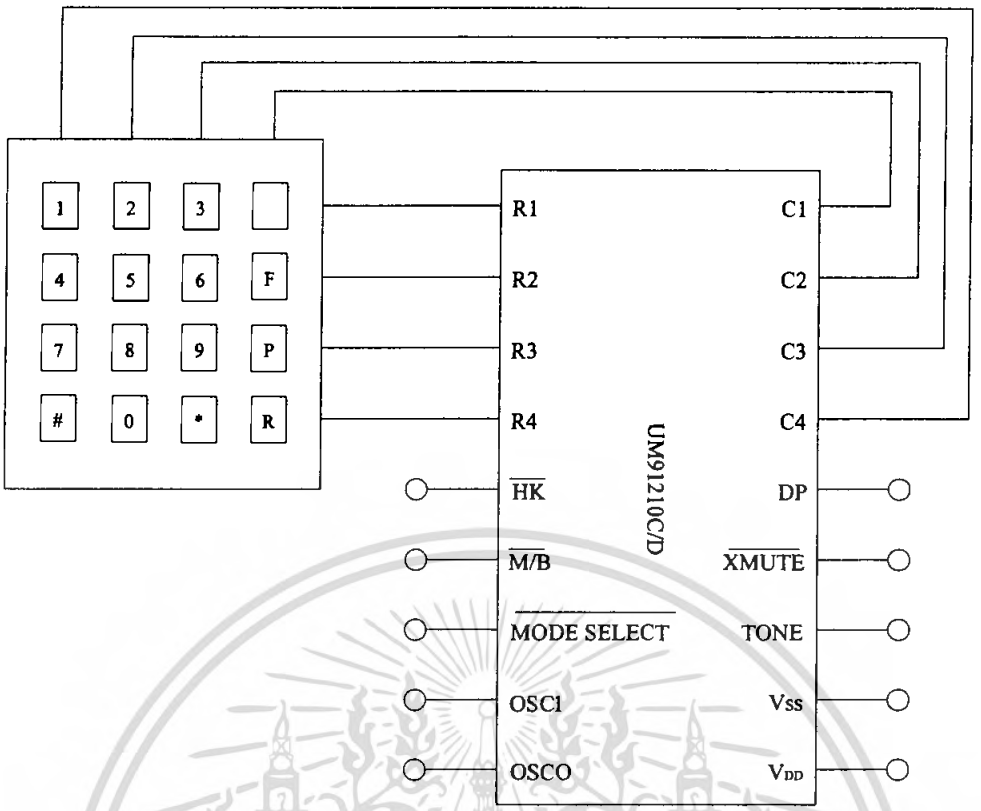


รูปที่ 3.1 วงจรกำเนิดเสียงเรียก

3.1.2 วงจรกำเนิดสัญญาณความถี่คู่

วงจรกำเนิดสัญญาณความถี่คู่แสดงดังรูปที่ 3.2 ใช้ไอซี UM91210 มาทำหน้าที่ส่งรหัสหมายเลขโดยอินเตอร์เฟสกับปุ่มกดชนิด 3*4 วงจรส่วนนี้จะทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณความถี่คู่ หรือที่เรียกว่าความถี่ดีทีเอ็มเอฟ เพื่อทำหน้าที่ส่งหมายเลขโทรศัพท์ที่ต้องการติดต่อไปยังชุมสายโทรศัพท์ เพื่อทำการติดต่อกับปลายทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

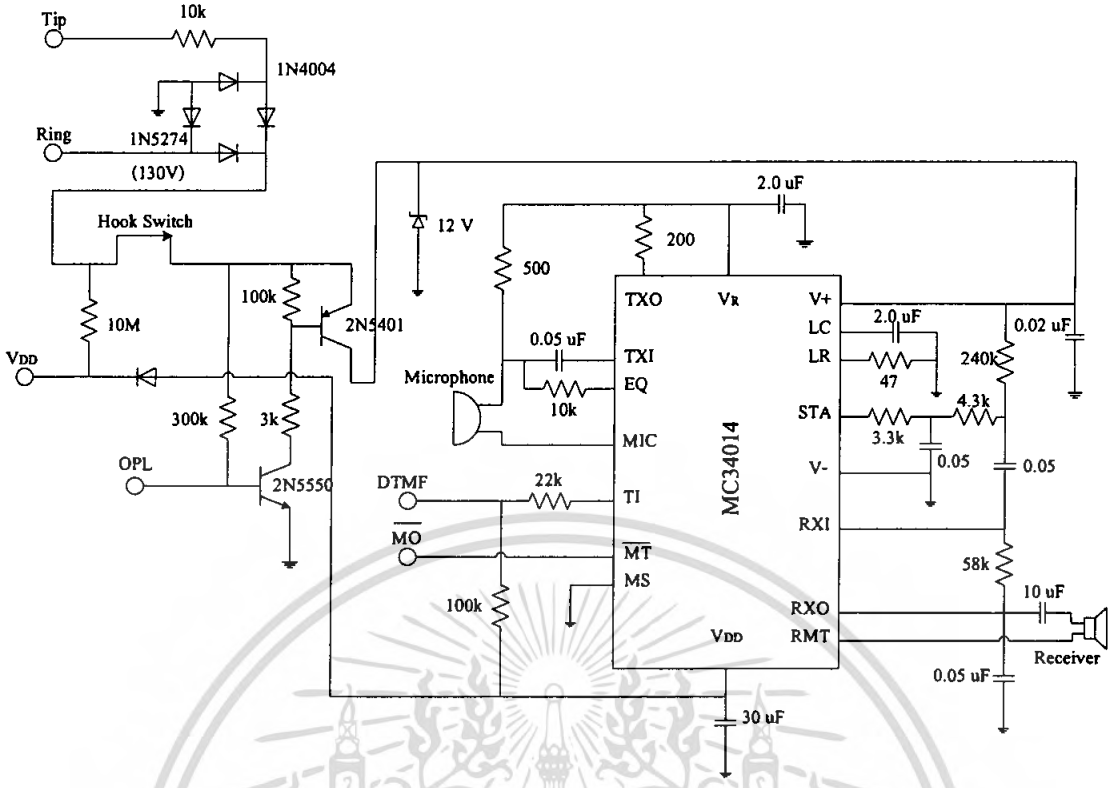


รูปที่ 3.2 วงจรกำเนิดสัญญาณความถี่คู่

3.1.3 วงจรเสียงพูด

วงจรเสียงพูดแสดงดังรูปที่ 3.3 ใช้ไอซี MC34014 มาทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณเสียงพูดให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าแล้วส่งไปยังคู่สนทนา และเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าที่ส่งมาจากคู่สนทนาให้เป็นสัญญาณเสียงพูด ทำให้พูดคุยกันได้ นอกจากนี้ยังควบคุมระดับสัญญาณไซด์โทนที่หูฟังของผู้พูดด้วย

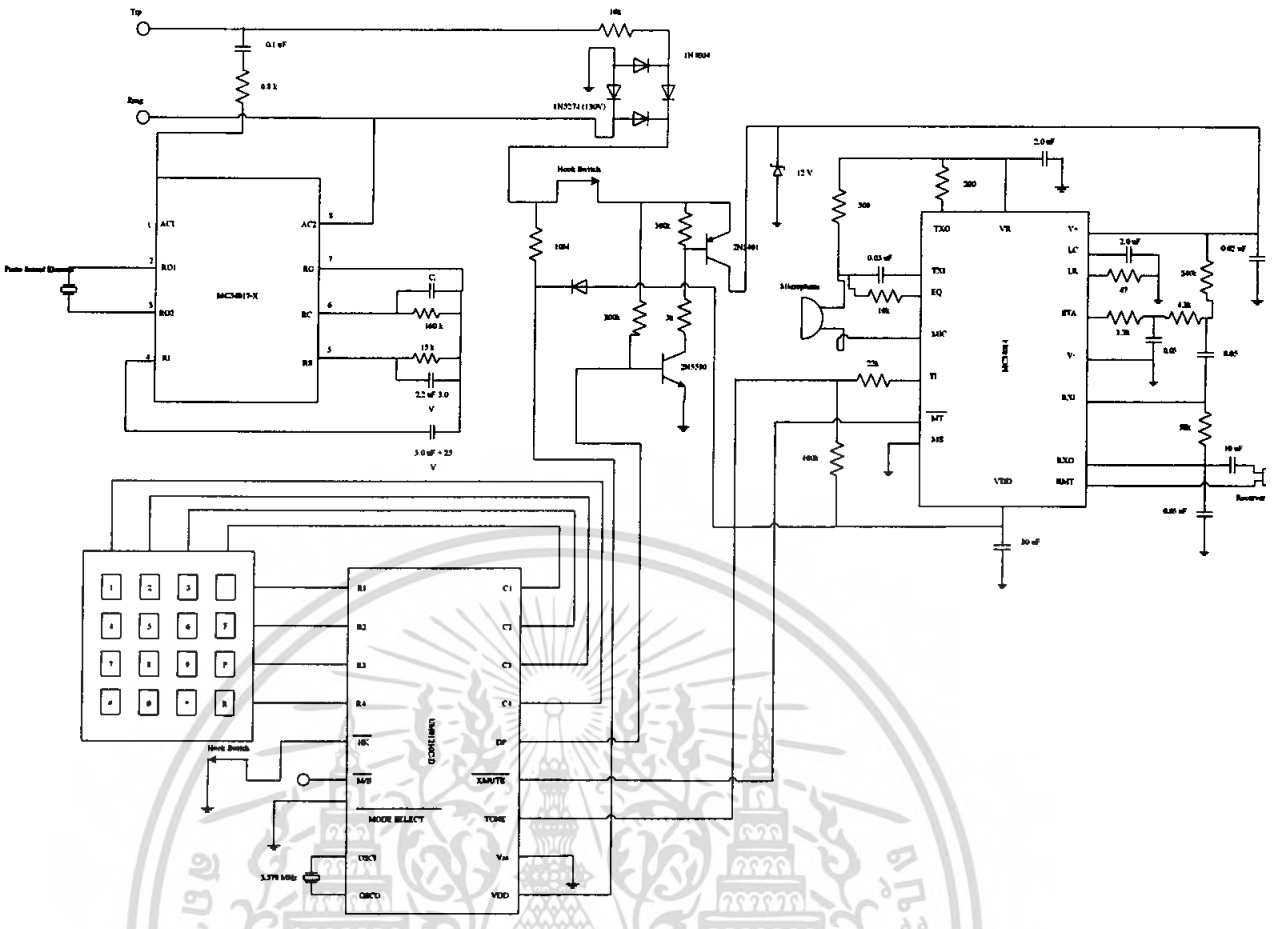
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 วงจรเสียงพูด

เมื่อนำวงจรกำเนิดเสียงเรียก ,วงจรกำเนิดสัญญาณความถี่คู่ และวงจรเสียงพูด มารวมกันเป็นวงจรเครื่องโทรศัพท์ จะได้วงจรดังรูปที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 วงจรเครื่องโทรศัพท์

3.2 วงจรขยาย Instrument Amplifier

การที่ใช้วงจรขยายอินสทรูเมนท์มาใช้งาน เพื่อทำการแยกสัญญาณรบกวนที่มาจากสิ่งแวดล้อม และสัญญาณที่เกิดจากกราวด์ลูป (Ground Loop) ของวงจรออกจากสัญญาณเสียงจริง โดยใช้เป็นภาคขยายเริ่มต้น (Pre Amp) ให้แก่ไมโครโฟน

สำหรับวงจรอินสทรูเมนท์ที่ใช้ในโครงงานนี้ เป็นวงจรที่นิยมใช้กันมากที่สุดวงจรหนึ่ง ซึ่งวงจรนี้สามารถที่จะปรับเปลี่ยนอัตราการขยายได้โดยไม่ยุ่งยากมากนัก ดังแสดงในรูปที่ 3.5

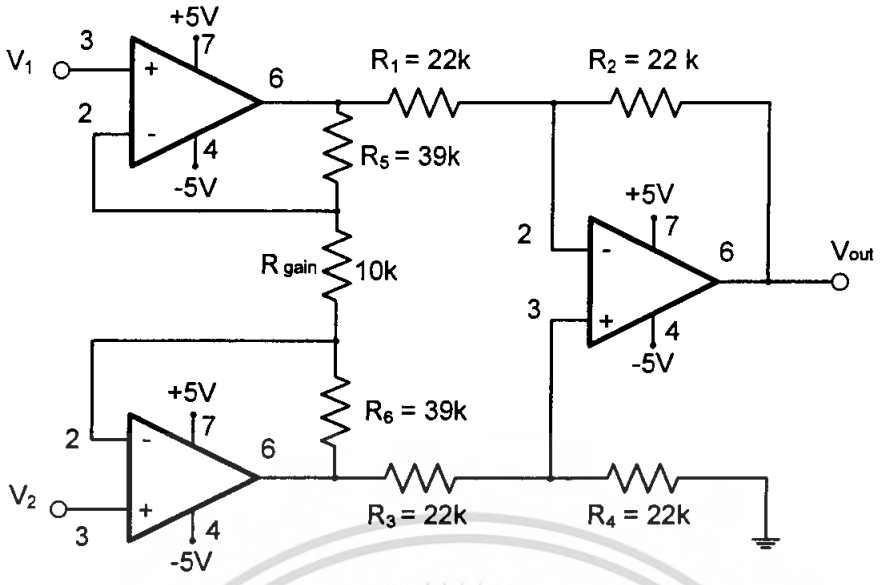
การใช้งานวงจรนี้สามารถทำได้โดย กำหนดค่า $R_2 = R_4$, $R_5 = R_6$, $R_1 = R_3$ โดยค่าของอัตราขยายสัญญาณขยายผลต่างของวงจรแสดงได้ดังสมการที่ 3.1

$$V_{OUT} = (V_{in2} - V_{in1}) (1+2R_5/R_G) (R_2/R_1) \qquad (3.1)$$

วงจรที่ออกแบบสามารถปรับเปลี่ยนอัตราการขยายได้โดยง่าย โดยในการนำไปใช้งานจริงทำการเปลี่ยนค่าความต้านทาน R_G เท่านั้น

ในโครงงานนี้จะเลือกใช้อัตราการขยาย (Gain) 10 เท่า รูปวงจรแสดงดังรูปที่ 3.5

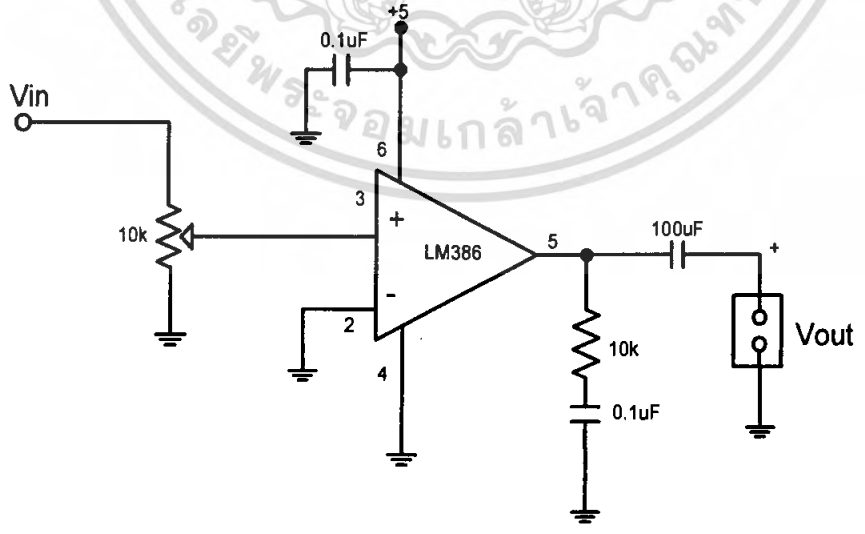
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แสดงวงจรขยายอินสทรูเมนท์

3.3 วงจรขยาย Audio Amplifier

วงจรขยายเสียงที่ใช้ในโครงงานนี้ ใช้ไอซี LM386 ที่มีกำลังขนาด 1 วัตต์ ในวงจรขยายเสียงนี้สัญญาณอินพุทจะผ่านเข้าความต้านทานปรับค่าได้ 10 กิโลโอห์ม ทำหน้าที่ปรับอัตราขยายของวงจรผ่านตัวเก็บประจุคับปลิ้ง 0.1 ไมโครฟารัด และยังป้องกันไฟตรงที่อาจปนมากับเสียงด้วย จากนั้นสัญญาณเสียงจะผ่านเข้าอินพุทของ LM386 ที่ขา 3 ทำหน้าที่เป็นวงจรขยายกำลังงานของสัญญาณเสียงให้มีกำลังสูง โดยอัตราขยายของกำลังงานมีให้เลือกใช้ตั้งแต่ 20,50 และ 200 เท่า โดยในโครงงานนี้จะเลือกใช้อัตราการขยาย 20 เท่า รูปวงจร Audio Amplifier Gain = 20 แสดงในรูปที่ 3.6



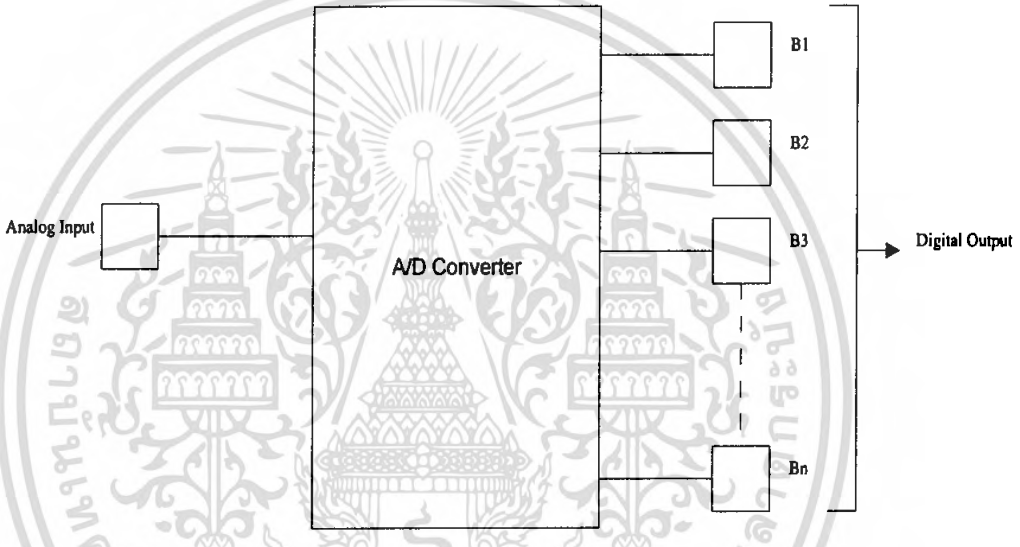
รูปที่ 3.6 แสดงวงจร Audio Amplifier Gain = 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การแปลง A/D และ D/A

หลักการของการแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล คือ การแปลงรูปแบบของสัญญาณต่อเนื่องค่าหนึ่งๆที่เป็นโวลเตจ หรือกระแสที่เป็นสัญญาณที่มีค่าสอดคล้องกันโดย block diagram ของอุปกรณ์แปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลดังแสดงในรูปที่ 3.7 ซึ่งอินพุทโวลท์เตจ (Vin) เป็นการประมาณไบนารี่ ส่วนโวลเตจเอาท์พุทฟูลสเกล (V_{fs}) ซึ่งเป็นเอาท์พุทของตัวแปลงสัญญาณดิจิตอลที่ n บิต จะได้รหัสดิจิตอล ดังสมการที่ 3.2

$$D = \frac{Vin}{Vfs} = \frac{B1}{2} + \frac{B2}{2^2} + ... + \frac{Bn}{2^n} \tag{3.2}$$

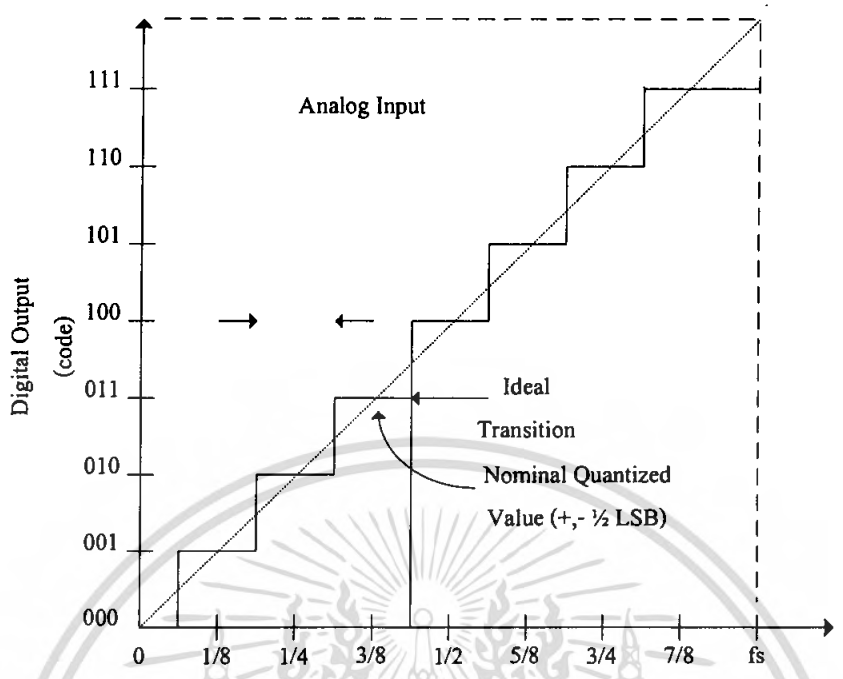


รูปที่ 3.7 บล็อกไดอะแกรมของอุปกรณ์แปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล

ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณแอนาลอกอินพุทและสัญญาณดิจิตอลเอาท์พุทของตัวแปลงสัญญาณในอุดมคติ แสดงดังรูปที่ 3.8 จากรูปกำหนดดิจิตอลเอาท์พุทมีค่า 3 บิต โดยที่ n บิตดิจิตอลเอาท์พุทมีค่า $(2^n - 1)$ บิตในแนวนอนแสดงสัญญาณแอนาลอกอินพุท และแนวตั้งแสดงสัญญาณดิจิตอลเอาท์พุท โดยย่านของแอนาลอกอินพุทจะมีความสัมพันธ์กับดิจิตอลเอาท์พุท ยกตัวอย่างเช่น ที่แอนาลอกอินพุตย่าน 0.5 Fs จะมีความสัมพันธ์กับดิจิตอลเอาท์พุท 100 เป็นต้น ซึ่งความสัมพันธ์นี้เรียกว่า ความกว้างของรหัส (Code) ในอุดมคติความกว้างมีค่า 1 LSB (Least Significant Bit) ดังแสดงค่า ในสมการที่ 3.3 แต่ในทางปฏิบัติความกว้างที่ยอมรับได้จะมีค่า = +/- 0.5 LSB

$$\Delta V_o = 1LSB = \frac{V_{fs}}{2^n} \tag{3.3}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

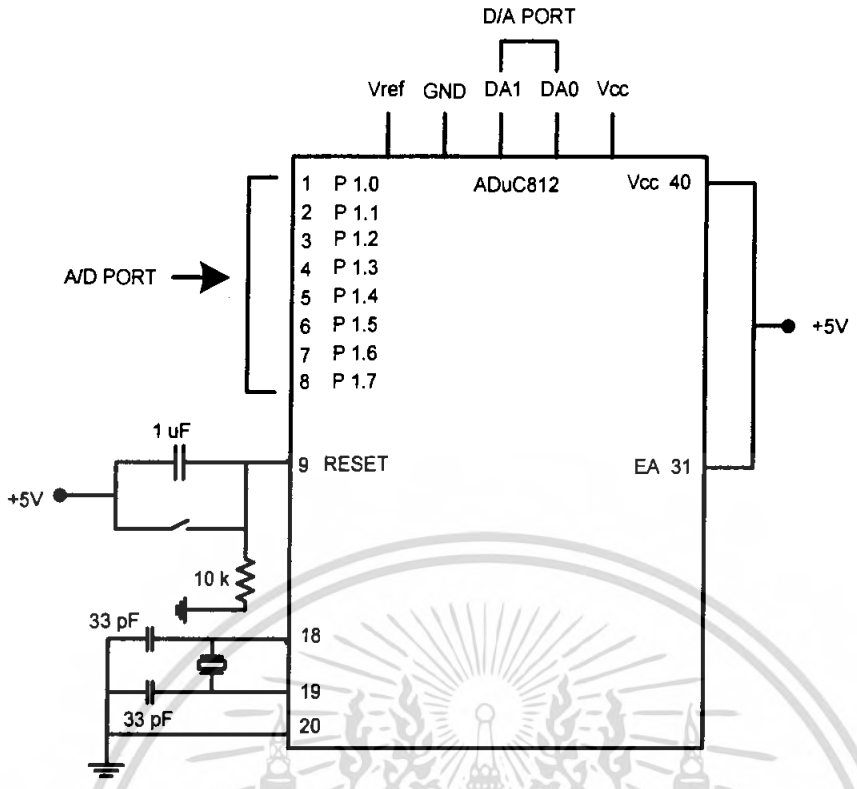


รูปที่ 3.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณแอนาลอกอินพุทและสัญญาณแอนาลอกเอาท์พุท

สำหรับวงจรในการแปลง A/D และ D/A ดังแสดงดังรูปที่ 3.9 ซึ่งในโครงงานนี้จะใช้ IC เบอร์ ADuC812 เพราะ IC มีวงจรการแปลง A/D และ D/A อยู่แล้วภายในตัว โดยในการแปลง A/D นั้น สามารถเลือกใช้ขาของ IC ขาที่ 1 – ขาที่ 8 เป็นขาอินพุทในการรับค่า และเซตค่าการแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลที่รีจิสเตอร์ 0EFH และ 0D8H โดยสามารถกำหนดอัตราแซมปลิ้งระดับสัญญาณในการแปลง A/D หรือจำนวนบิตดิจิตอลเอาท์พุทได้ เป็นต้น

ในการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนาลอกจะได้สัญญาณเอาท์พุทที่เป็นสัญญาณแอนาลอกที่ขา DA0 หรือ DA1 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ จะมีการกำหนดค่าการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนาลอกที่รีจิสเตอร์ 0FDH โดยสามารถตั้งค่าการแปลง D/A เป็น 8 บิต หรือ 12 บิต การกำหนด D/A เอาท์พุทพอร์ทให้เป็นพอร์ท DAC1 หรือ DAC0 เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



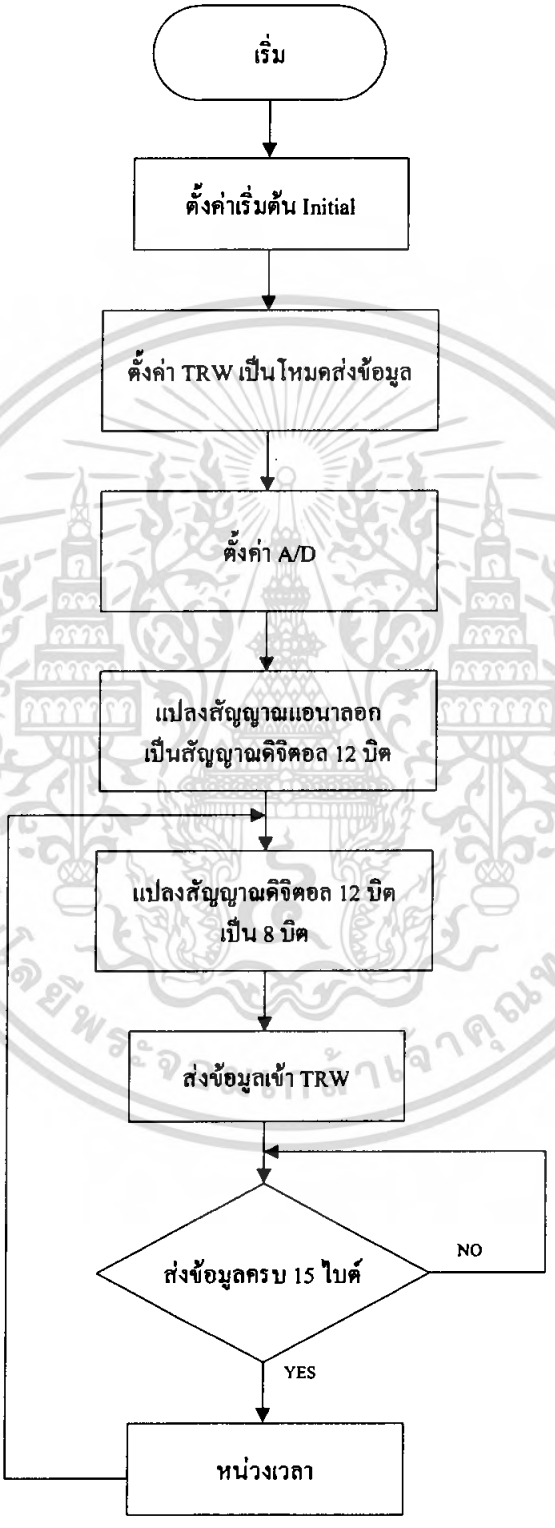
รูปที่ 3.9 แสดงวงจรการแปลง A/D และ D/A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 ภาคการรับ / ส่ง ผ่าน TRW

3.5.1 ภาคส่ง

ในภาคส่งการส่งข้อมูลผ่านโมดูลTRW ได้แสดงขั้นตอนการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.10

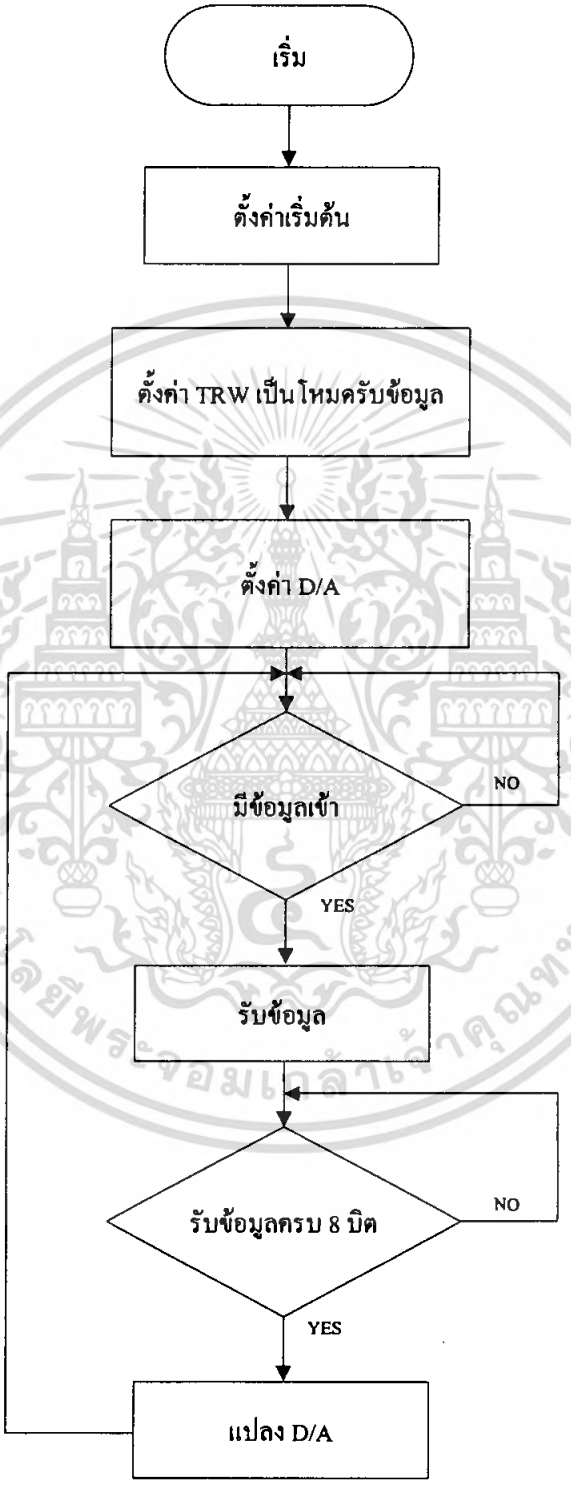


รูปที่ 3.10 แสดงขั้นตอนการส่งข้อมูลผ่าน TRW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2 ภาครับ

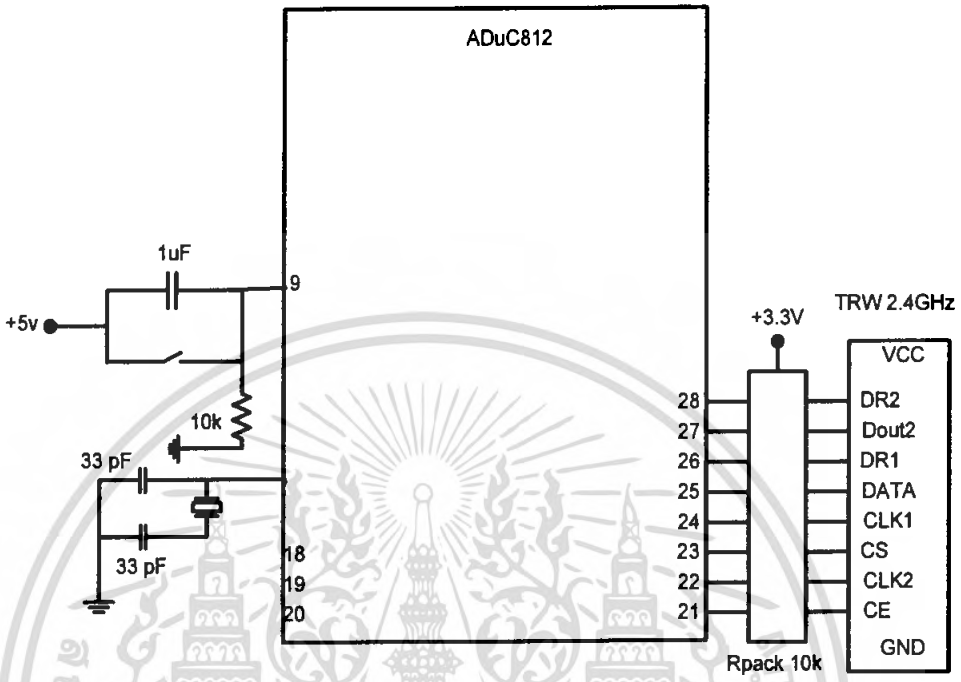
ในภาครับการรับข้อมูลจากโมดูล TRW เข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์ได้แสดงขั้นตอนการรับข้อมูลดังแสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 แสดงขั้นตอนการรับข้อมูลผ่าน TRW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรในภาครับ/ส่งข้อมูลผ่านโมดูล TRW นั้นจะใช้ IC เบอร์ ADuC812 ต่อเข้ากับอุปกรณ์พื้นฐาน ในการส่งและรับข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 แสดงวงจรภาคการรับ/ส่ง ผ่าน TRW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

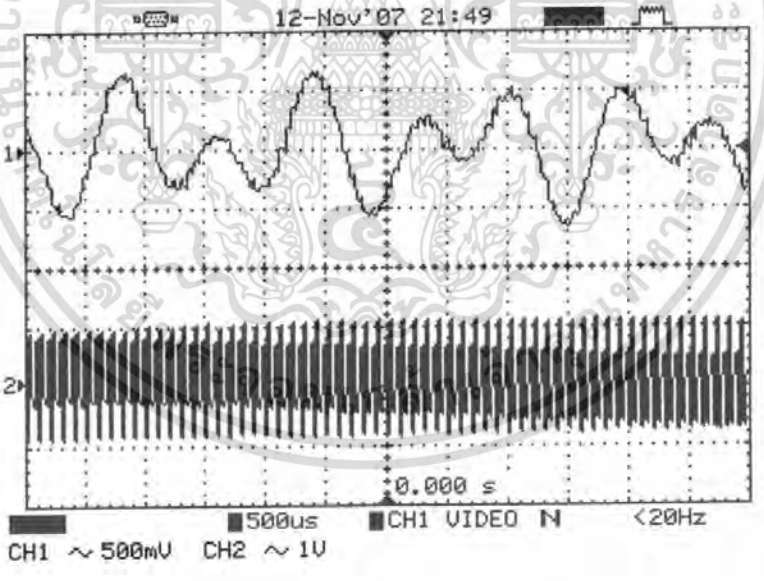
บทที่ 4
การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้จะแบ่งผลการทดลองออกเป็น 4 ส่วน คือ ในส่วนแรกจะเป็นผลการทดลองของวงจรเครื่องโทรศัพท์,ในส่วนที่สองจะเป็นผลการทดลองของวงจรสื่อสารไร้สาย,ในส่วนที่สามจะเป็นส่วนของผลการทดลองวงจรสื่อสารไร้สายทั้งหมด และในส่วนสุดท้ายจะเป็นผลการทดลองของวงจรโทรศัพท์เมื่อรวมกับวงจรสื่อสารไร้สาย

4.1 ผลการทดลองวงจรโทรศัพท์

4.1.1 ผลการทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณความถี่คู่

วงจรกำเนิดสัญญาณความถี่คู่ (ภาคผนวกรูปที่ 1) จะทำการป้อนสัญญาณอินพุทด้วยคีย์สวิตช์ขนาด 4*3 โดยต่อขาคอลัมน์ (Column)เข้ากับขา C_1(pin19) , C_2(pin20) , C_3(pin21) และต่อขาโรว์(Row)เข้ากับขา R_1(pin1) , R_2(pin2) , R_3(pin3) , R_4(pin4) ของไอซี UM91210 จากนั้นทำการต่อคริสตอล 3.58 MHz เข้ากับขา OSC1(pin9) และ OSC0(pin10) แล้วทำการป้อนแรงดัน 5V เข้าที่ขา V_{DD}(pin11) และ V_{SS}(pin12) จากนั้นเมื่อทำการกดคีย์สวิตช์ จะได้สัญญาณดีทีเอ็มเอฟ ออกทางขา TONE(pin15) ดังรูปที่ 4.1 ใน Channel 1 และสัญญาณออสซิลเลต(Ossillate) ทางขา OSC1(pin9) และ OSC0(pin10) ดังรูปที่ 4.1 ใน Channel 2



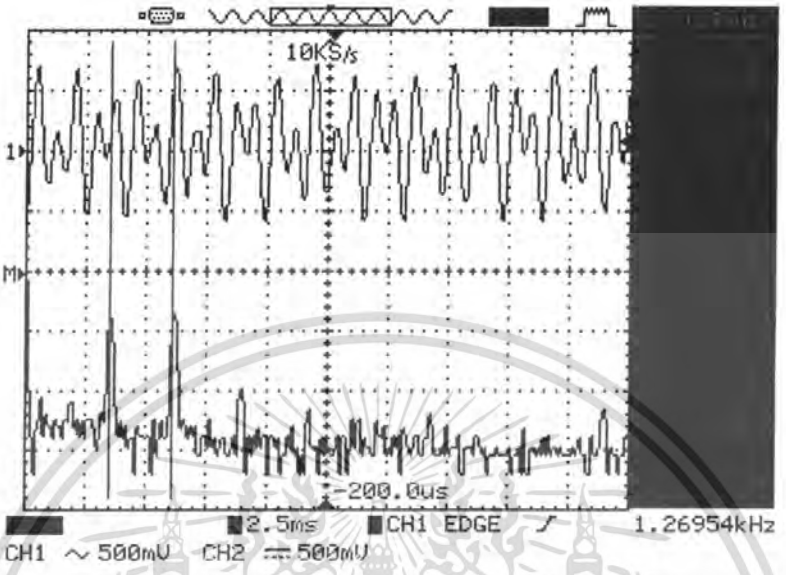
Channel 1 แสดงสัญญาณดีทีเอ็มเอฟ

Channel 2 แสดงสัญญาณไซนูซอยดอลที่ได้จากขา OSCI

รูปที่ 4.1 สัญญาณดีทีเอ็มเอฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

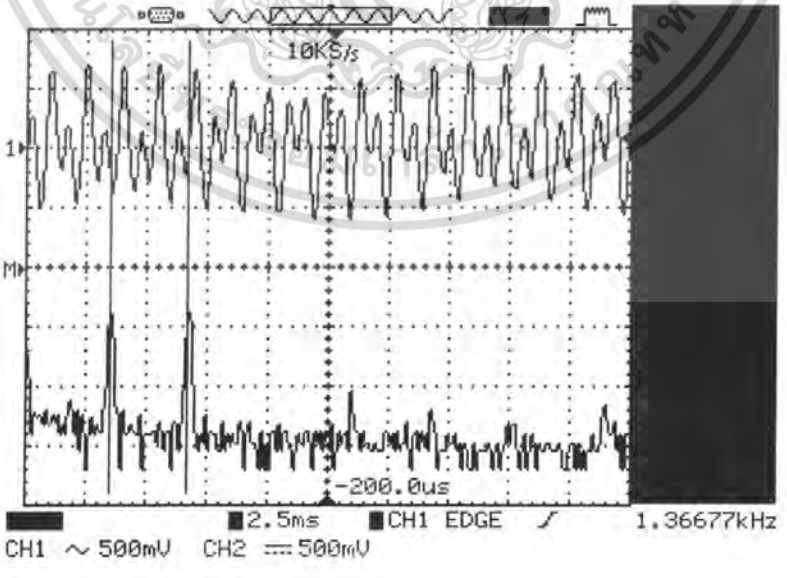
เมื่อทำการกดคีย์ 1 จะได้สัญญาณความถี่คู่ที่ขา TONE(pin15) ดังรูปที่ 4.2 ใน Channel 1 และเมื่อทำการวัดสเปคตรัม จะได้สัญญาณสเปคตรัมจาก Channel 1 ซึ่งประกอบด้วยสัญญาณความถี่ 1209 Hz และ 697 Hz



Channel 1 แสดงสัญญาณคีย์ 1

รูปที่ 4.2 สเปคตรัมสัญญาณคีย์ 1

เมื่อทำการกดคีย์ 2 จะได้สัญญาณความถี่คู่ที่ขา TONE(pin15) ดังรูปที่ 4.3 ใน Channel 1 และเมื่อทำการวัดสเปคตรัม จะได้สัญญาณสเปคตรัมจาก Channel 1 ซึ่งประกอบด้วยสัญญาณความถี่ 1336 Hz และ 697 Hz

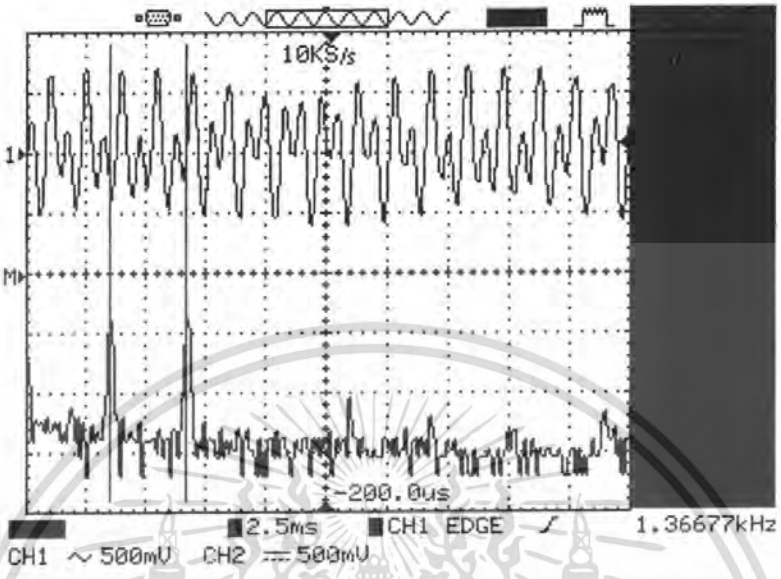


Channel 1 แสดงสัญญาณคีย์ 2

รูปที่ 4.3 สเปคตรัมสัญญาณคีย์ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

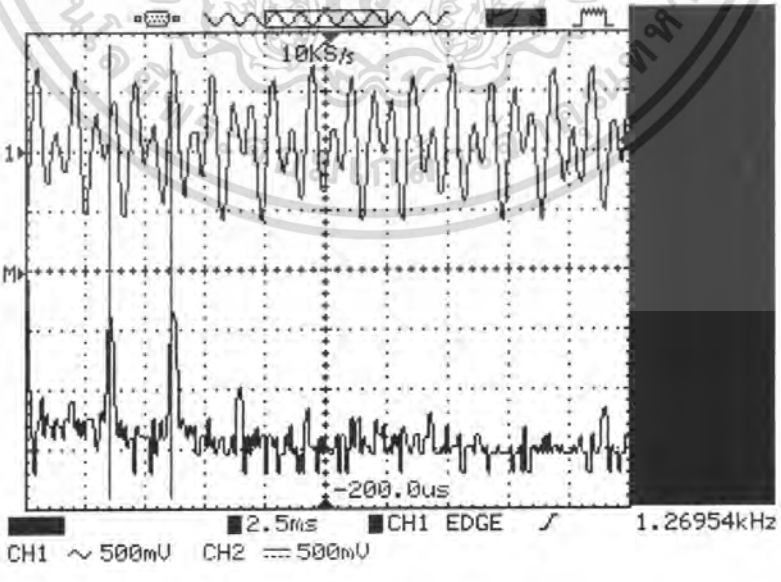
เมื่อทำการกดคีย์ 3 จะได้สัญญาณความถี่คู่ที่ขา TONE(pin15) ดังรูปที่ 4.4 ใน Channel 1 และเมื่อทำการวัดสเปคตรัม จะได้สัญญาณสเปคตรัมจาก Channel 1 ซึ่งประกอบด้วยสัญญาณความถี่ 1477 Hz และ 697 Hz



Channel 1 แสดงสัญญาณคีย์ 3

รูปที่ 4.4 สเปคตรัมสัญญาณคีย์ 3

เมื่อทำการกดคีย์ 1 จะได้สัญญาณความถี่คู่ที่ขา TONE(pin15) ดังรูปที่ 4.5 ใน Channel 1 และเมื่อทำการวัดสเปคตรัม จะได้สัญญาณสเปคตรัมจาก Channel 1 ซึ่งประกอบด้วยสัญญาณความถี่ 1209 Hz และ 697 Hz

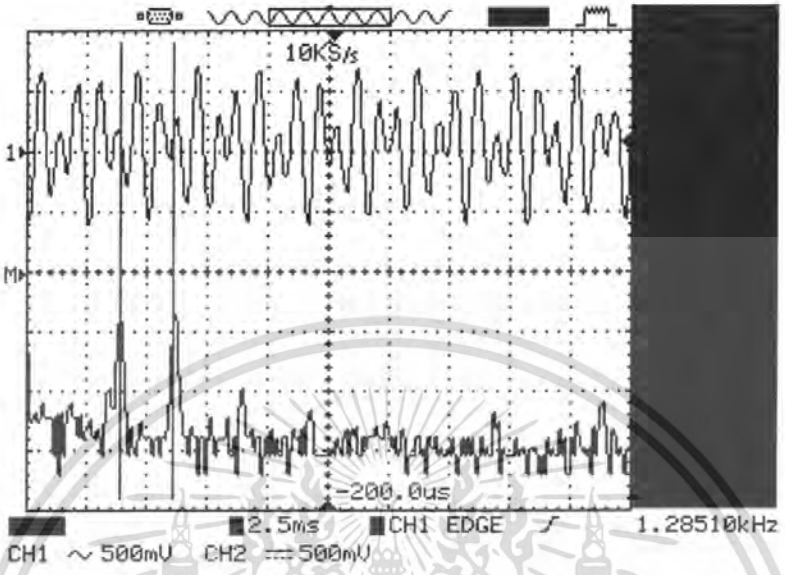


Channel 1 แสดงสัญญาณคีย์ 1

รูปที่ 4.5 สเปคตรัมสัญญาณคีย์ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

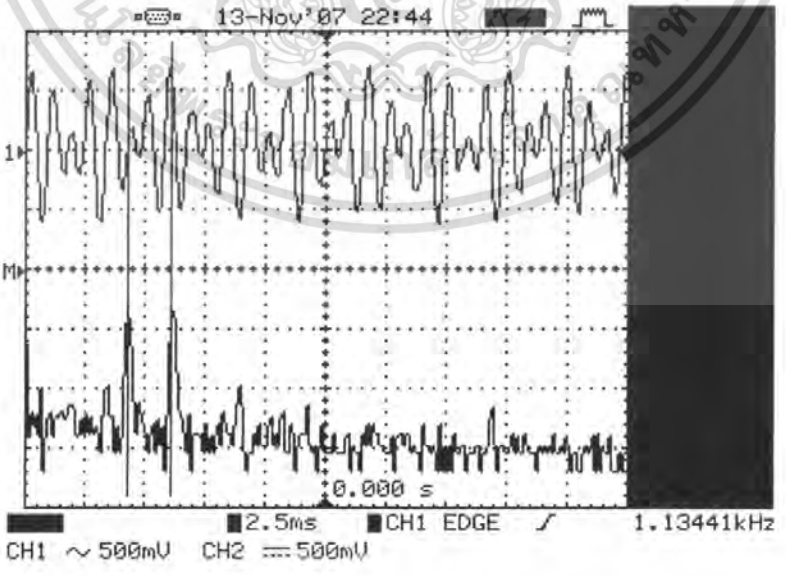
เมื่อทำการกดคีย์ 4 จะได้สัญญาณความถี่คู่ที่ขา TONE(pin15) ดังรูปที่ 4.6 ใน Channel 1 และเมื่อทำการวัดสเปคตรัม จะได้สัญญาณสเปคตรัมจาก Channel 1 ซึ่งประกอบด้วยสัญญาณความถี่ 1209 Hz และ 770 Hz



Channel 1 แสดงสัญญาณคีย์ 4

รูปที่ 4.6 สเปคตรัมสัญญาณคีย์ 4

เมื่อทำการกดคีย์ 7 จะได้สัญญาณความถี่คู่ที่ขา TONE(pin15) ดังรูปที่ 4.7 ใน Channel 1 และเมื่อทำการวัดสเปคตรัม จะได้สัญญาณสเปคตรัมจาก Channel 1 ซึ่งประกอบด้วยสัญญาณความถี่ 1209 Hz และ 852 Hz



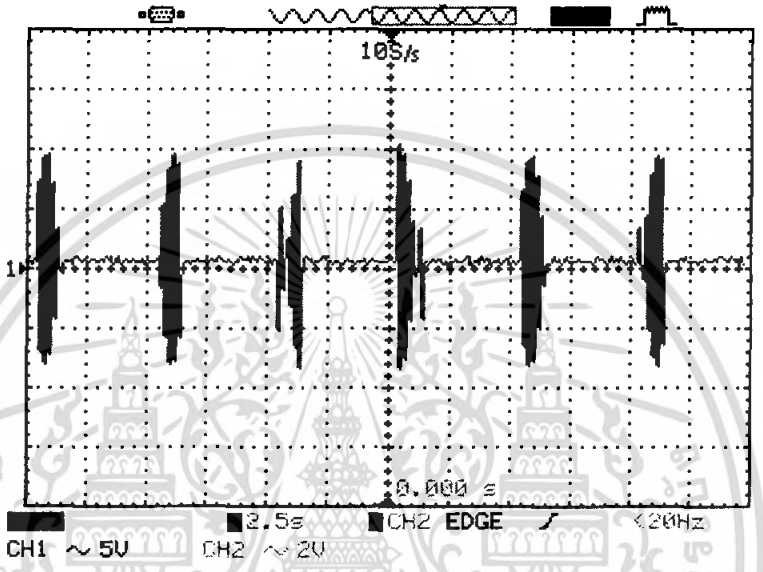
Channel 1 แสดงสัญญาณคีย์ 7

รูปที่ 4.7 สเปคตรัมสัญญาณคีย์ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ผลการทดลองวงจรกำเนิดเสียงเรียก

วงจรกำเนิดเสียงเรียก (ภาคผนวกรูปที่ 2) จะรับอินพุทจากสายโทรศัพท์ขาริง (Ring) และขาทิป (Tip) โดยต่อขาทิป เข้ากับขา AC1(pin1) และต่อขาริงเข้ากับขา AC2(pin8) ของไอซี MC34017 และต่อลำโพงเปียโซ (Piezo) เข้าที่ขา RO_1(pin2) , RO_2(pin3) เมื่อได้รับสัญญาณดังรูปที่ 4.8 จากสายโทรศัพท์ จะทำให้ลำโพงเปียโซ ดังเป็นระยะเวลาห่างกันตามสัญญาณที่ได้รับ และสามารถทำการปรับความถี่เสียงสัญญาณเรียกเข้า โดยทำการเปลี่ยนค่าตัวเก็บประจุ (C_f)



Channel 1 แสดงสัญญาณเรียกเข้า (Ringing)

รูปที่ 4.8 สัญญาณเรียกเข้า

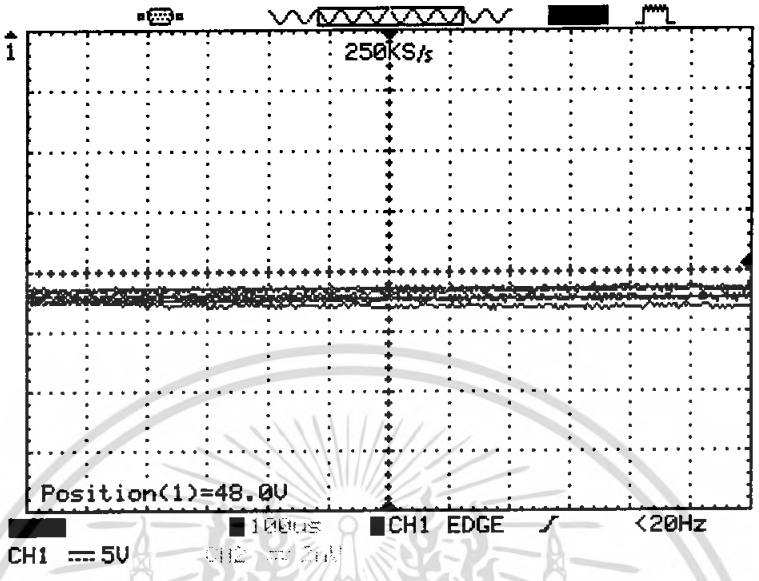
4.1.3 ผลการทดลองวงจรเสียงพูด

วงจรเสียงพูด (ภาคผนวกรูปที่ 3) จะทำการรับสัญญาณเสียงจากไมโครโฟนเข้าสู่สายโทรศัพท์ และนำสัญญาณเสียงจากสายโทรศัพท์ ออกทางรีซีฟเวอร์ (Receiver) โดยวงจรเสียงพูดจะประกอบไปด้วยไอซี MC34014 และบริดจ์ไดโอด (Bridge Diode) โดยต่อบริดจ์ไดโอดเข้ากับขาริงและทิปของสายโทรศัพท์

เมื่อนำวงจรกำเนิดเสียงเรียก,วงจรกำเนิดสัญญาณความถี่คู่ และวงจรเสียงพูดมาต่อรวมกัน (ภาคผนวกรูปที่ 4) จากนั้นทำการวัดผลที่ขาริงและทิป

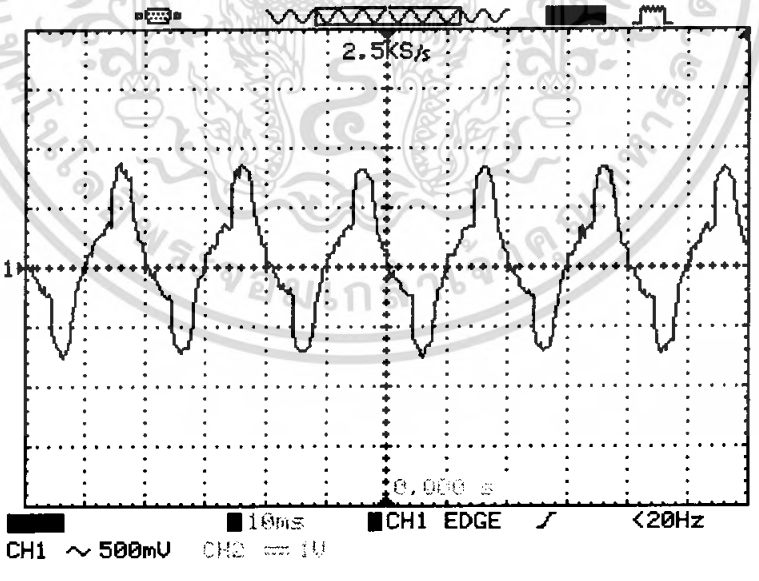
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขณะที่ยังไม่ได้ยกหูโทรศัพท์เมื่อทำการวัดสัญญาณที่ขาริงและทิป จะได้สัญญาณไฟตรงขนาด -48 V ดังรูปที่ 4.9 ใน Channel 1 และเมื่อวัดผลเป็นกระแสสลับจะได้สัญญาณดังรูปที่ 4.10 ใน Channel 1



Channel 1 แสดงสัญญาณเมื่อยังไม่ยกหู

รูปที่ 4.9 สัญญาณเมื่อยังไม่ยกหูเมื่อวัดเป็นสัญญาณไฟกระแสตรง

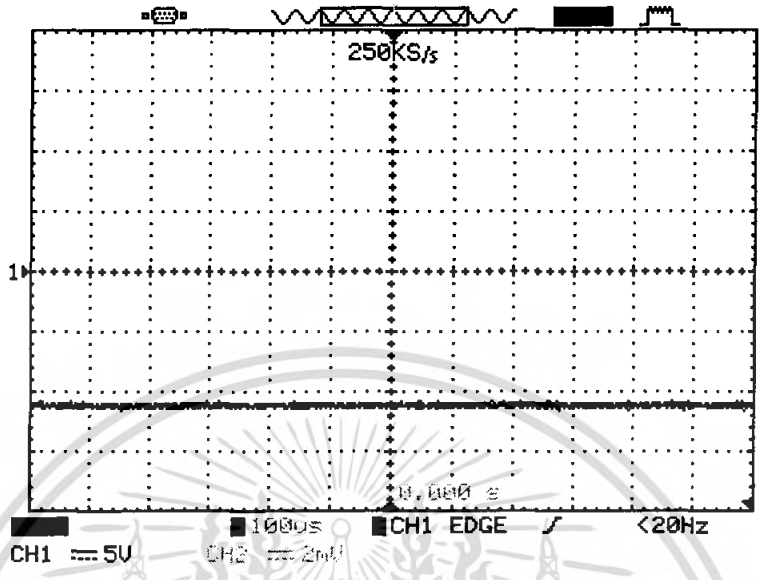


Channel 1 แสดงสัญญาณเมื่อยังไม่ยกหู

รูปที่ 4.10 สัญญาณเมื่อยังไม่ยกหูเมื่อวัดเป็นสัญญาณไฟกระแสสลับ

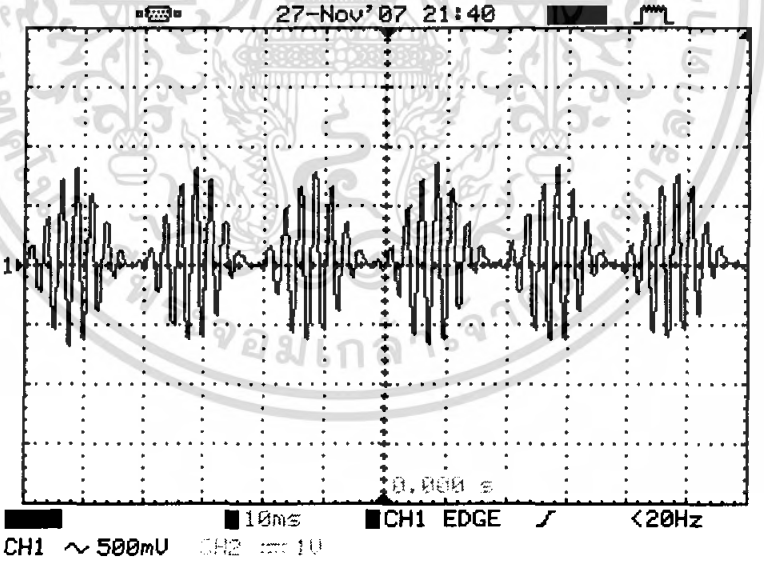
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อมาเมื่อทำการยกหูโทรศัพท์จะได้สัญญาณไฟตรง -10 V ดังรูปที่ 4.11 ใน Channel 1 และเมื่อทำการวัดสัญญาณกระแสสลับจะได้สัญญาณดังรูปที่ 4.12 ใน Channel 1



Channel 1 แสดงสัญญาณเมื่อยกหู

รูปที่ 4.11 สัญญาณเมื่อยกหูเมื่อวัดเป็นสัญญาณไฟกระแสตรง

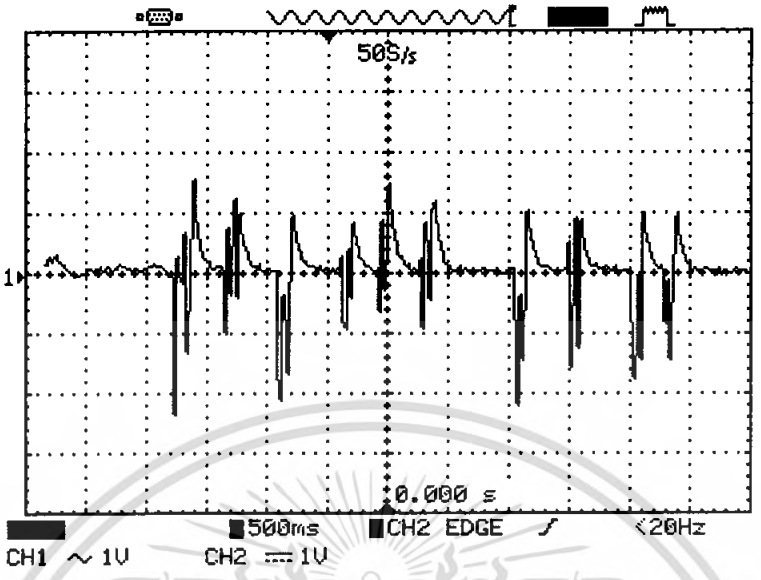


Channel 1 แสดงสัญญาณเมื่อยกหู

รูปที่ 4.12 สัญญาณเมื่อยกหูเมื่อวัดเป็นสัญญาณไฟกระแสสลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

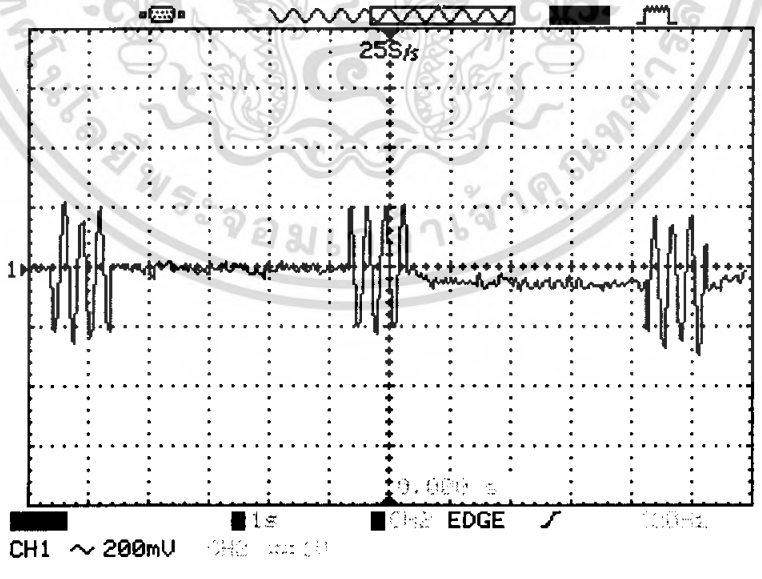
เมื่อทำการกดหมายเลขโทรศัพท์ จากวงจรกำเนิดสัญญาณความถี่คู่จะได้สัญญาณดังรูปที่ 4.13 ใน Channel 1



Channel 1 แสดงสัญญาณเมื่อกดปุ่ม

รูปที่ 4.13 สัญญาณกดปุ่ม

เมื่อทำการกดหมายเลขโทรศัพท์แล้ว ผู้รับจะทำการส่งสัญญาณรอสายกลับมา จะได้สัญญาณดังรูปที่ 4.14 ใน Channel 1

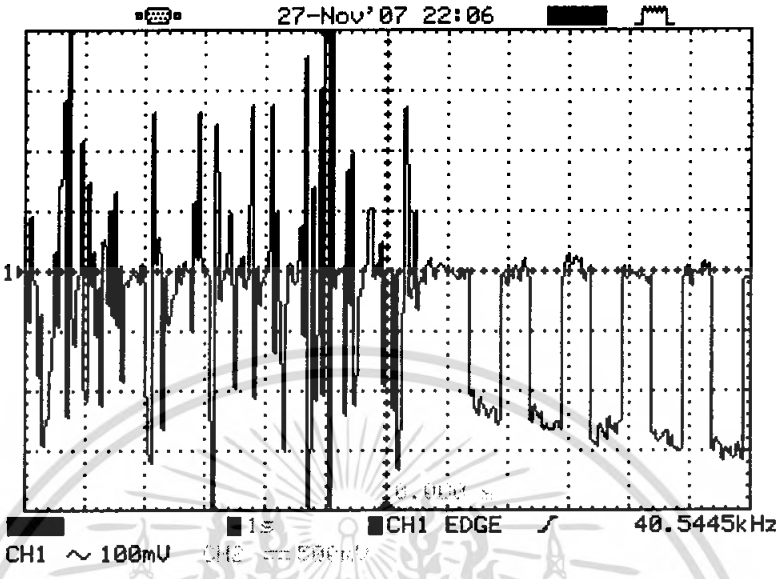


Channel 1 แสดงสัญญาณรอสาย

รูปที่ 4.14 สัญญาณรอสาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

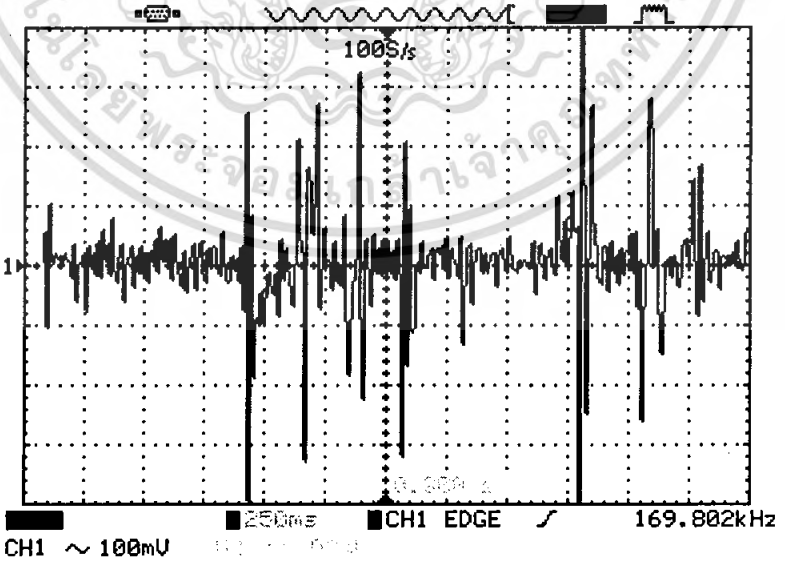
ถ้าหากผู้รับกำลังติดต่อกับผู้อื่นอยู่ ผู้รับจะส่งสัญญาณสายไม่ว่างกลับมา จะได้สัญญาณดังรูปที่ 4.15 ใน Channel 1



Channel 1 แสดงสัญญาณสายไม่ว่าง

รูปที่ 4.15 สัญญาณสายไม่ว่าง

เมื่อผู้รับทำการรับสาย การติดต่อกันระหว่างโทรศัพท์ 2 เครื่องก็จะเสร็จสมบูรณ์ ทำให้ผู้เรียกและผู้รับสามารถพูดคุยกันได้ จะได้สัญญาณเสียงพูดดังรูปที่ 4.16 ใน Channel 1



Channel 1 แสดงสัญญาณเสียงพูด

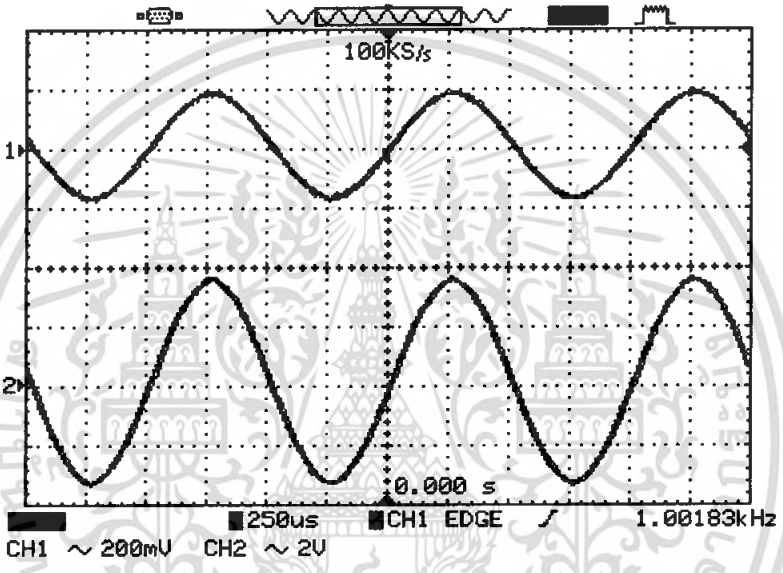
รูปที่ 4.16 สัญญาณเสียงพูด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดลองของวงจรสื่อสาร

4.2.1 ผลการทดลองวงจร Instrument Amplifier

การขยายสัญญาณผ่านวงจรอินสทรูเมนท์นั้น จะทำการป้อนสัญญาณให้กับวงจรขยายอินสทรูเมนท์ (ภาคผนวก รูปที่ 5) โดยวงจรจะทำการขยายสัญญาณให้อยู่ในย่าน -5 V ถึง 5 V นอกจากจะทำการขยายสัญญาณแล้ว ก็จะทำการตัด noise ไปในตัวด้วย โดยป้อนสัญญาณอินพุทที่ต่างกัน ที่จุด V_1 และ V_2 หรือป้อนสัญญาณอินพุทที่จุด V_2 และจุด V_1 ต่อเข้ากับกราวด์ จากนั้นทำการวัดสัญญาณอินพุทที่จุด V_2 เทียบกับสัญญาณเอาท์พุทที่จุด Vout และสามารถปรับอัตราการขยายโดยการปรับค่า Rgain ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.17 และรูปที่ 4.18

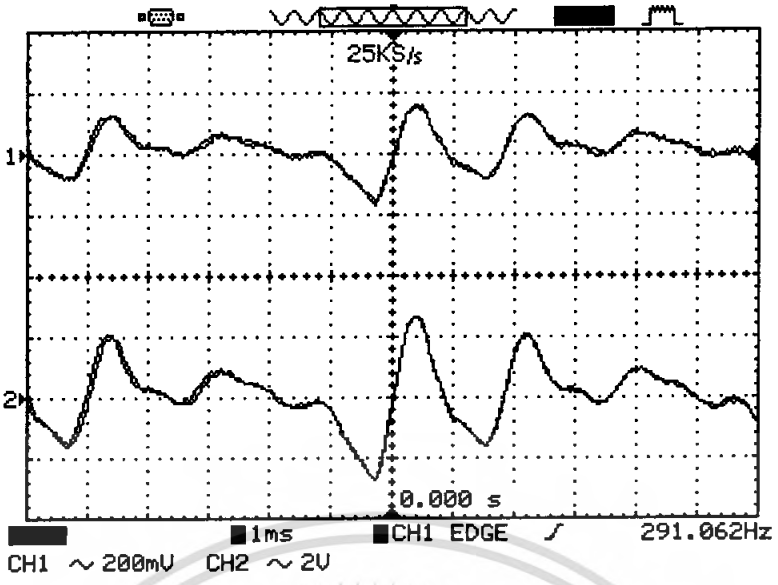


Channel 1 แสดงสัญญาณที่ป้อนให้วงจรอินสทรูเมนท์

Channel 2 แสดงสัญญาณที่ออกจากวงจรอินสทรูเมนท์

รูปที่ 4.17 สัญญาณรูปไซน์ที่ผ่านวงจรอินสทรูเมนท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Channel 1 แสดงสัญญาณเสียงที่ป้อนให้วงจรอินสทรูเมนท์

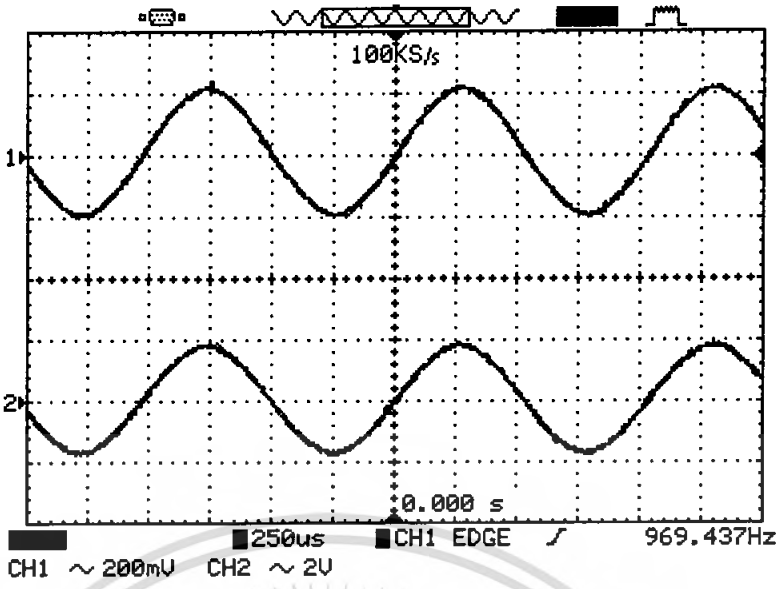
Channel 2 แสดงสัญญาณเสียงที่ออกจากวงจรอินสทรูเมนท์

รูปที่ 4.18 แสดงสัญญาณเสียงที่ผ่านวงจรอินสทรูเมนท์

4.2.2 ผลการทดลองวงจร Audio Amplifier

การขยายสัญญาณผ่านวงจรออดิโอนั้น จะทำการป้อนสัญญาณให้กับวงจรขยายออดิโอ (ภาคผนวก รูปที่ 6) โดยทำการป้อนสัญญาณอินพุทที่จุด Vin แล้วทำการวัดสัญญาณเอาท์พุทที่จุด Vout และสามารถปรับอัตราการขยายโดยปรับค่า Rgain ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.19 และรูปที่ 4.20

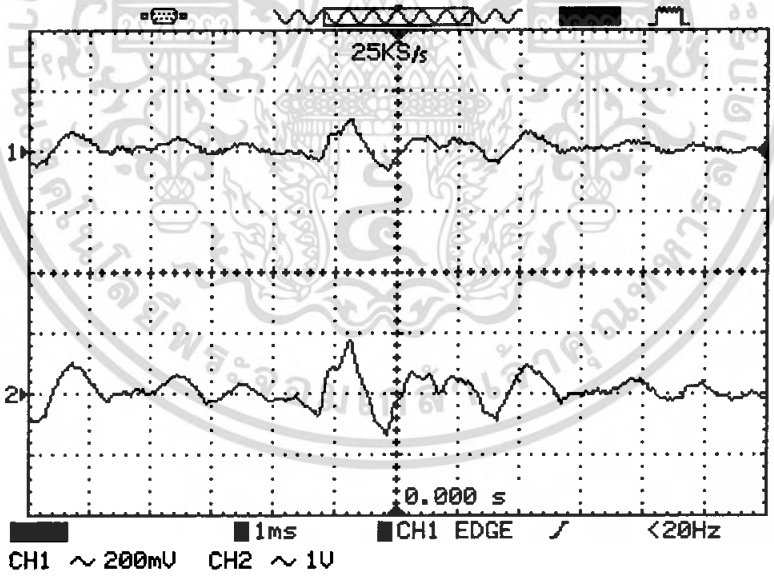
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Channel 1 แสดงสัญญาณที่ป้อนให้วงจรออดิโอ

Channel 2 แสดงสัญญาณที่ออกจากวงจรออดิโอ

รูปที่ 4.19 สัญญาณรูปไซน์ที่ผ่านวงจรออดิโอ



Channel 1 แสดงสัญญาณเสียงที่ป้อนให้วงจรออดิโอ

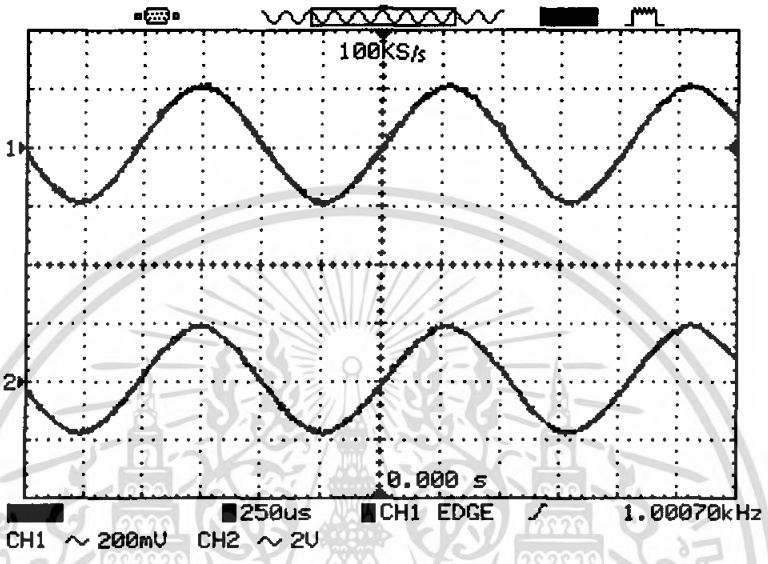
Channel 2 แสดงสัญญาณเสียงที่ออกจากวงจรออดิโอ

รูปที่ 4.20 สัญญาณเสียงที่ผ่านวงจรออดิโอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 ผลการทดลองวงจรอินสทรูเมนท์ร่วมกับออดิโอ

ในการทดลองจะทำการต่อจุด Vout ของวงจรอินสทรูเมนท์ (ภาคผนวก รูปที่ 5) ไปที่จุด Vin ของวงจรออดิโอ (ภาคผนวก รูปที่ 6) แล้วทำการป้อนสัญญาณอินพุทที่ต่างกัน ที่จุด V_1 และ V_2 ของวงจรอินสทรูเมนท์ หรือป้อนสัญญาณอินพุทที่จุด V_2 และจุด V_1 ต่อเข้ากับกราวด์ จากนั้นทำการวัดเอาท์พุทที่จุด Vout ของวงจรออดิโอ ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.21 และ รูปที่ 4.22

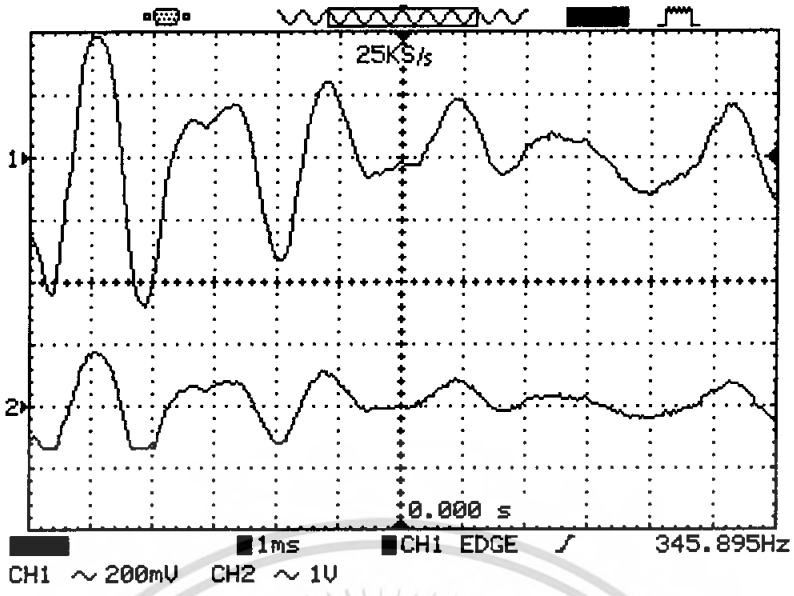


Channel 1 แสดงสัญญาณที่ป้อนให้วงจรอินสทรูเมนท์ร่วมกับวงจรออดิโอ

Channel 2 แสดงสัญญาณที่ออกจากวงจรอินสทรูเมนท์ร่วมกับวงจรออดิโอ

รูปที่ 4.21 สัญญาณรูปไซน์ที่ผ่านวงจรอินสทรูเมนท์ร่วมกับวงจรออดิโอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Channel 1 แสดงสัญญาณเสียงที่ป้อนให้วงจรอินสทรูเมนท์ร่วมกับวงจรออดิโอ

Channel 2 แสดงสัญญาณเสียงที่ออกจากวงจรอินสทรูเมนท์ร่วมกับวงจรออดิโอ

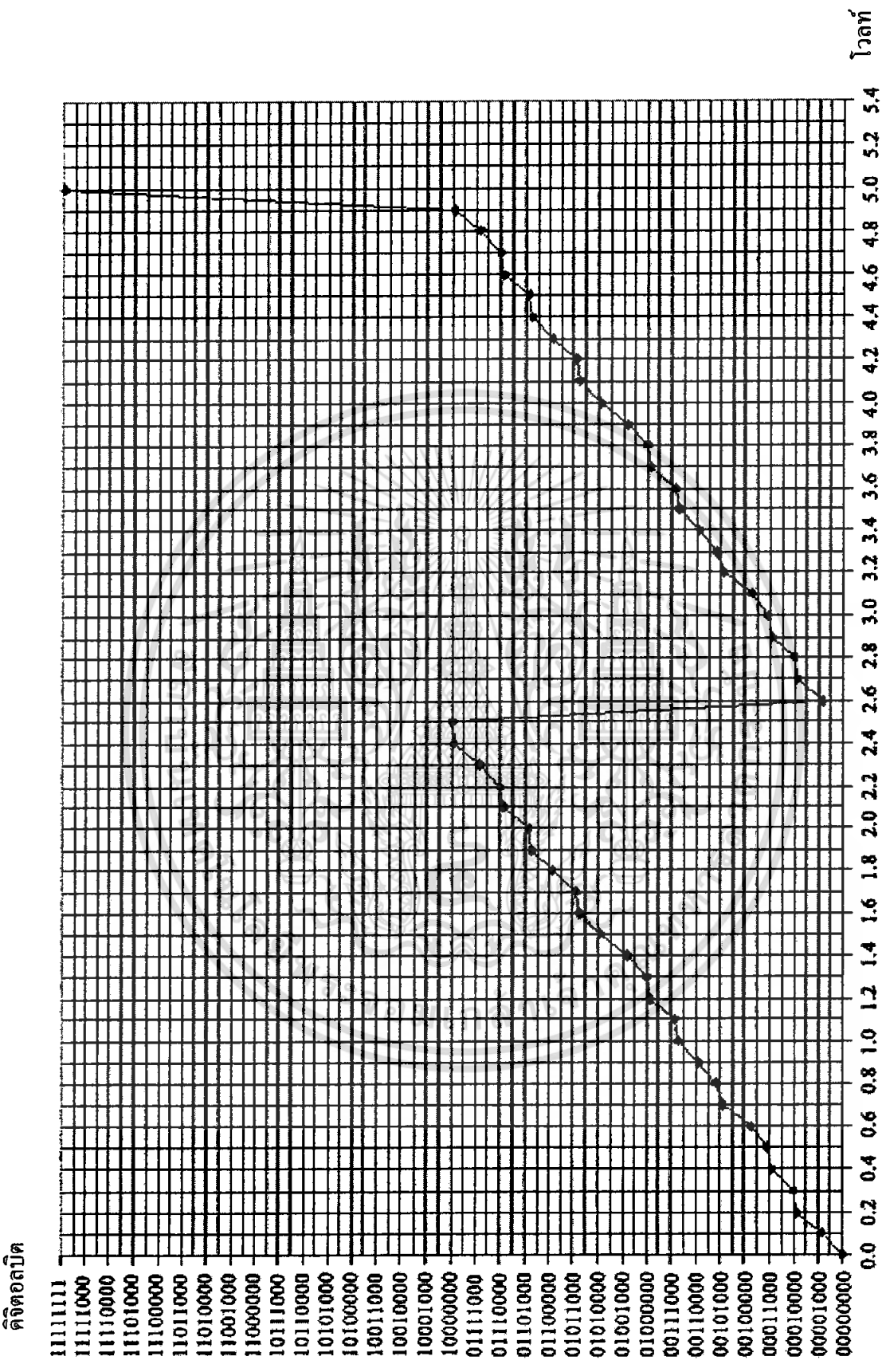
รูปที่ 4.22 สัญญาณเสียงที่ผ่านวงจรอินสทรูเมนท์ร่วมกับวงจรออดิโอ

4.2.4 ผลการทดลองการแปลง A/D และ D/A

4.2.4.1 ผลการทดลองการแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล (A/D)

การทดลองการแปลง A/D ทำได้โดยต่อวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ (ภาคผนวก รูปที่ 7) และใช้โปรแกรมการแปลง A/D (ภาคผนวก โปรแกรม 1) โดยป้อนสัญญาณอินพุทเข้าที่พอร์ท P1.0 ในทดลองการหาค่าการแปลง A/D ทำได้โดยป้อนสัญญาณไฟตรงตั้งแต่ 0V - 5V โดยเพิ่มแรงดันทีละ 0.1 V แล้วทำการอ่านค่าดิจิตอลบิตเอาท์พุทจากหลอด LED ที่ต่อกับ Port 0 จากนั้นทำการบันทึกค่า และทำการพล็อต (plot)กราฟ จะได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 แสดงกราฟผลการแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4.2 ผลการทดลองการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนาลอก (D/A)

การทดลองการแปลง D/A ทำได้โดยต่อวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ (ภาคผนวก รูปที่ 7) และใช้โปรแกรมการแปลง D/A (ภาคผนวก โปรแกรม 2) โดยการสร้างอินพุทเป็นบิตดิจิตอล จากตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ จากนั้นทำการวัดระดับแรงดันเอาท์พุทที่พอร์ท DA0 แล้วทำการบันทึกค่าดังตารางที่ 4.1

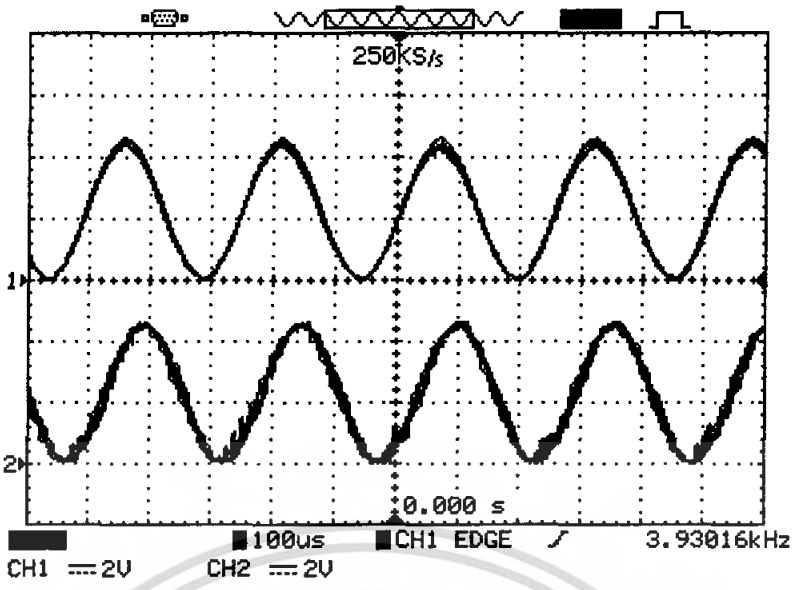
ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงผลการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนาลอก

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	V
1	0	0	0	0	0	0	0	2.5
0	1	0	0	0	0	0	0	1.3
0	0	1	0	0	0	0	0	0.7
0	0	0	1	0	0	0	0	0.3
0	0	0	0	1	0	0	0	0.15
0	0	0	0	0	1	0	0	0.075
0	0	0	0	0	0	1	0	0.038
0	0	0	0	0	0	0	1	0.018

4.2.4.3 ผลการทดลองการแปลง A/D และ D/A

การทดลองการแปลง A/D และ D/A ทำได้โดยต่อวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ (ภาคผนวก รูปที่ 7) และใช้โปรแกรมการแปลง A/D และ D/A (ภาคผนวก โปรแกรม 2) โดยทำการป้อนสัญญาณรูปไซน์ ,สี่เหลี่ยม และสามเหลี่ยม ตามลำดับ ที่พอร์ท P1.0 จากนั้นทำการวัดสัญญาณเอาท์พุทที่พอร์ท DA0 ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.24 , รูปที่ 4.25 และ รูปที่ 4.26

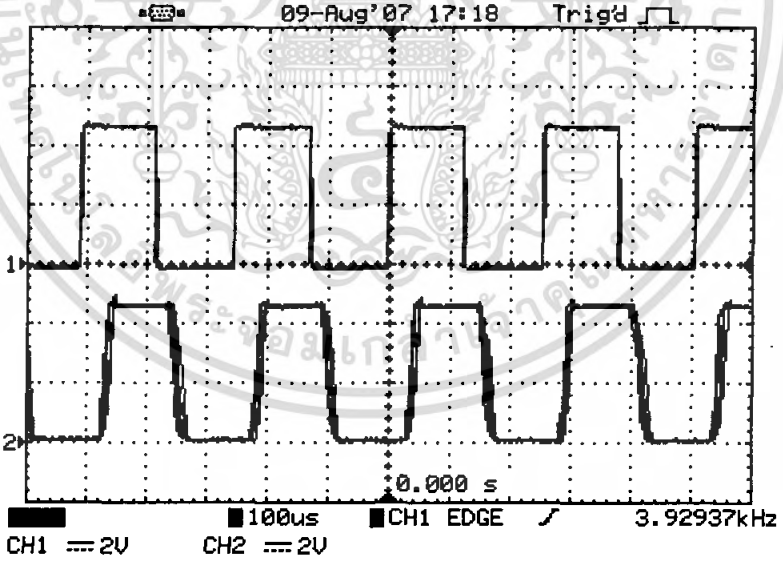
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Channel 1 แสดงสัญญาณอินพุทรูปไซน์ f = 4 kHz

Channel 2 แสดงสัญญาณรูปไซน์ที่ผ่านการแปลง A/D และ D/A แล้ว

รูปที่ 4.24 สัญญาณรูปไซน์ที่ผ่านวงจร A/D และ D/A

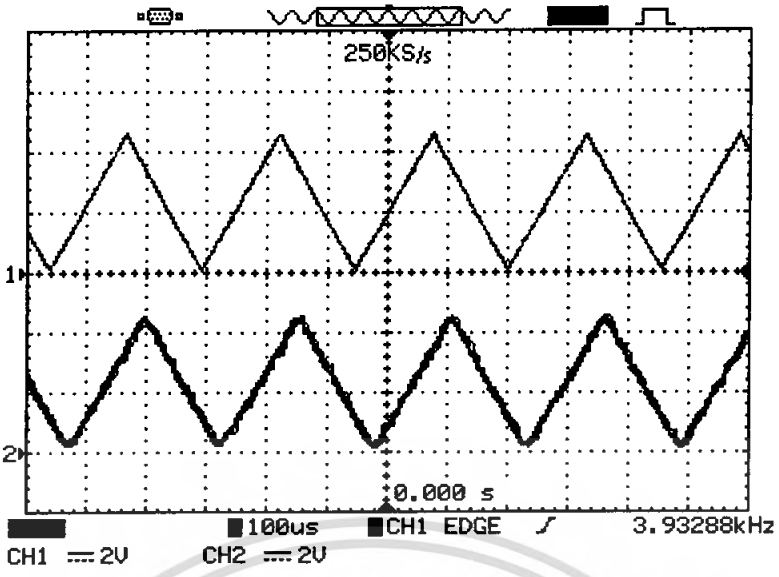


Channel 1 แสดงสัญญาณอินพุทรูปสี่เหลี่ยม f = 4 kHz

Channel 2 แสดงสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมที่ผ่านการแปลง A/D และ D/A แล้ว

รูปที่ 4.25 สัญญาณรูปสี่เหลี่ยมที่ผ่านวงจร A/D และ D/A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Channel 1 แสดงสัญญาณอินพุทรูปสามเหลี่ยม f = 4 kHz

Channel 2 แสดงสัญญาณรูปสามเหลี่ยมที่ผ่านการแปลง A/D และ D/A แล้ว

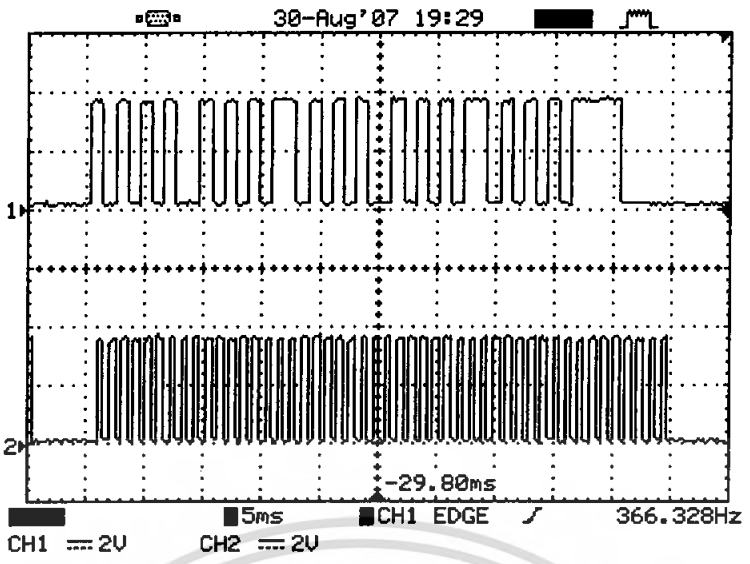
รูปที่ 4.26 สัญญาณรูปสามเหลี่ยมที่ผ่านวงจร A/D และ D/A

4.2.5 ผลการทดลองการส่งและรับข้อมูลผ่าน TRW

การทดลองการส่งและรับข้อมูลผ่าน TRW ทำได้โดยต่อวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ากับโมดูล TRW (ภาคผนวก รูปที่ 8) สองชุด และใช้โปรแกรมควบคุมการส่งและการรับ (ภาคผนวก โปรแกรม 3 และ โปรแกรม 4 ตามลำดับ)

การวัดข้อมูลภาคส่งทำได้โดยวัดสัญญาณที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เซตเป็นภาคส่ง โดยวัดสัญญาณข้อมูลที่ขา 25 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือขา Data ของ TRW เทียบกับสัญญาณ clock ที่ขา 24 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือขา CLK1 ของ TRW ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

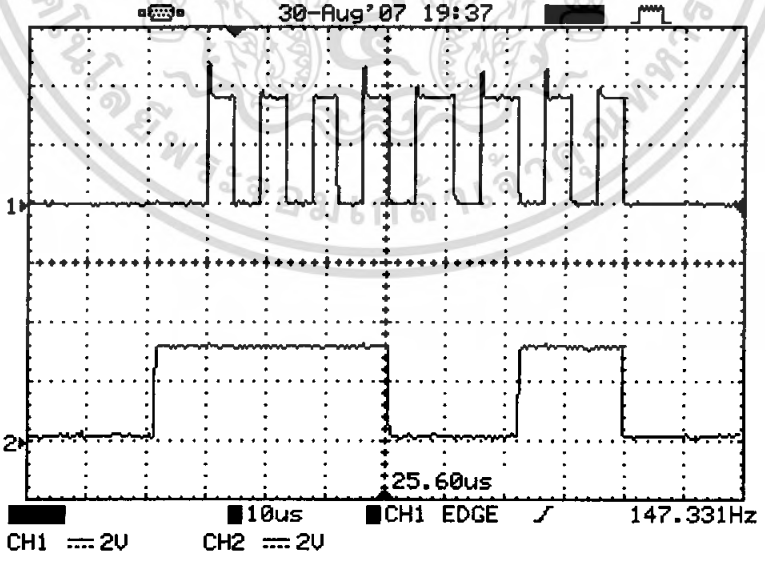


Channel 1 แสดงสัญญาณ Data Tx 8 บิต และ header 40 บิต

Channel 2 แสดงสัญญาณ clock ที่ f = 500 Hz

รูปที่ 4.27 แสดงสัญญาณข้อมูลทางภาคส่ง

ส่วนการรับข้อมูลภาครับทำได้โดยวัดสัญญาณที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เซตเป็นภาครับ โดยวัดข้อมูลที่ขา 25 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือขา Data ของ TRW เทียบกับสัญญาณ clock ที่ขา 24 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือขา CLK1 ของ TRW ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.28



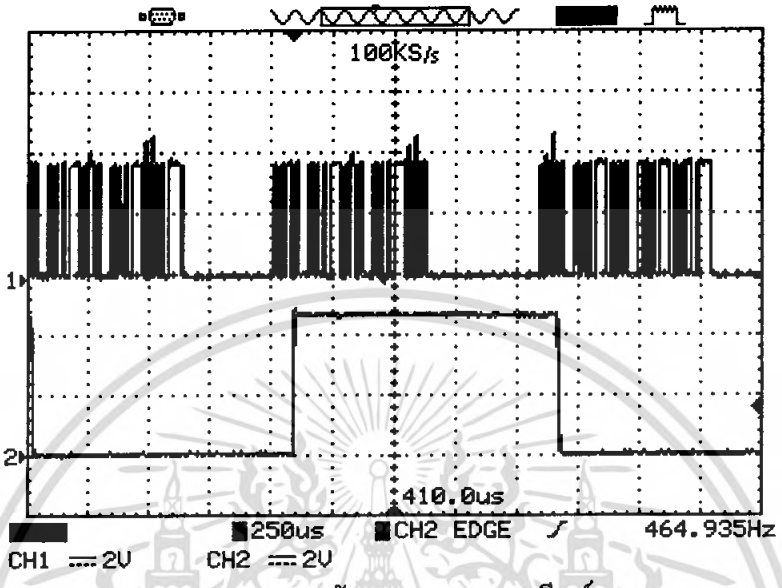
Channel 1 แสดงสัญญาณ clock ที่ f = 500 Hz

Channel 2 แสดงสัญญาณ Data Rx 8 บิต

รูปที่ 4.28 แสดงสัญญาณข้อมูลทางภาครับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนการวัดเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลต่อการส่ง 1 ครั้ง ทำได้โดยวัดสัญญาณที่พอร์ท P1.0 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วนำคาบที่ได้ของสัญญาณมาคำนวณหาเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลต่อการส่ง 1 ครั้ง จากการทดลองสามารถคำนวณได้ 1.1 ms ดังรูปที่ 4.29



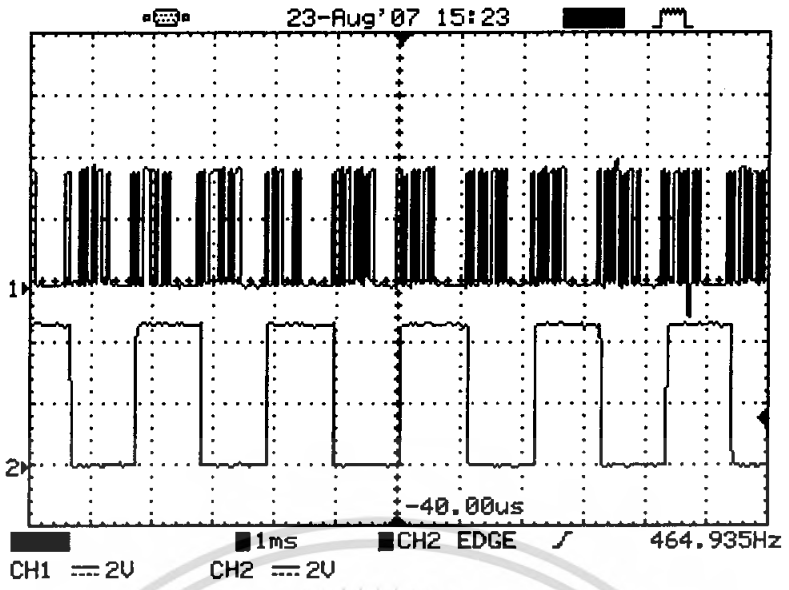
Channel 1 แสดงสัญญาณ Data และ ดีเลย์ 500 us

Channel 2 แสดงเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลต่อการส่ง 1 ครั้ง

รูปที่ 4.29 แสดงเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลต่อการส่ง 1 ครั้ง

ในการทดลองการส่งอัตราการแซมปลิ้งทำได้โดยต่อวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ากับโมดูล TRW (ภาคผนวก รูปที่ 8) สองชุด และใช้โปรแกรมควบคุมการส่งและการรับ (ภาคผนวก โปรแกรม 3 และ โปรแกรม 6 ตามลำดับ) แล้ววัดสัญญาณที่ผ่านการแปลง D/A ที่พอร์ท DA0 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ภาครับ จากการทดลองสามารถคำนวณอัตราการส่งการแซมปลิ้งได้ 930 Hz ดังรูปที่ 4.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Channel 1 แสดงสัญญาณที่ได้จากการแซมปลิ้ง

Channel 2 แสดงสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม f = 450 Hz

รูปที่ 4.30 แสดงอัตราการแซมปลิ้ง

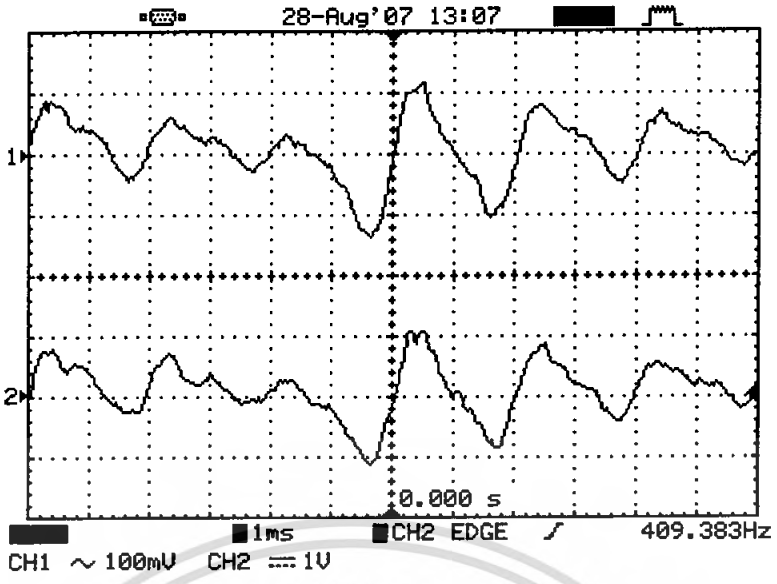
4.3 ผลการทดลองวงจรสื่อสารไร้สาย

4.3.1 ผลการทดลองวงจร Instrument Amplifier

การทดลองวงจรรวมทำได้โดยต่อวงจรรวม (ภาคผนวก รูปที่ 9) และใช้โปรแกรมควบคุมการส่งและการรับข้อมูล (ภาคผนวก โปรแกรม 5 และ โปรแกรม 6 ตามลำดับ)

จากนั้นทำการวัดสัญญาณอินพุทที่จุด 1 ในวงจร หรือขา V2 ของวงจรอินสทรูเมนท์ใน channel 1 แล้วทำการวัดสัญญาณเอาท์พุทที่จุด 2 ใน channel 2 ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

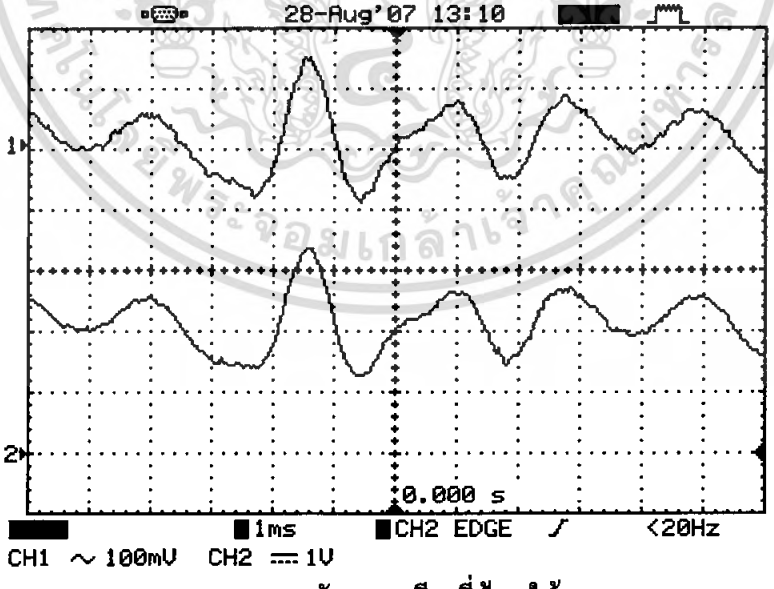


Channel 1 แสดงสัญญาณเสียงที่ป้อนให้วงจรรวม

Channel 2 แสดงสัญญาณเสียงที่ออกจากวงจรอินสทรูเมนท์

รูปที่ 4.31 แสดงสัญญาณเสียงที่ออกจากวงจรอินสทรูเมนท์

จากนั้นทำการวัดสัญญาณอินพุทที่จุด 1 ในวงจร หรือขา V2 ของวงจรอินสทรูเมนท์ใน channel 1 แล้วทำการวัดสัญญาณเอาท์พุทที่จุด 3 ใน channel 2 ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.32



Channel 1 แสดงสัญญาณเสียงที่ป้อนให้วงจรรวม

Channel 2 แสดงสัญญาณเสียงที่ออกจากวงจรยกระดับสัญญาณ

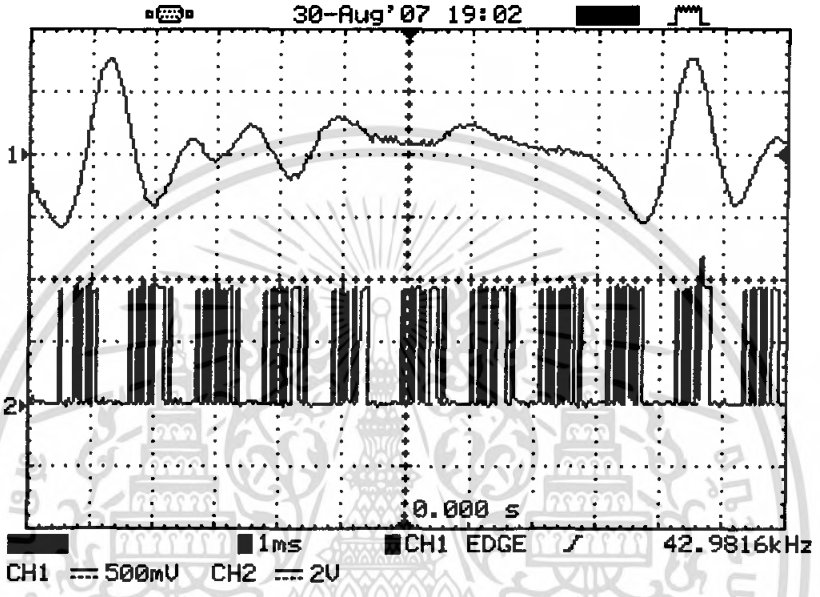
รูปที่ 4.32 แสดงสัญญาณเสียงที่ออกจากวงจรยกระดับสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ผลการทดลองวงจร A/D และ D/A

4.3.2.1 ผลการทดลองวงจร A/D

จากนั้นทำการวัดสัญญาณอินพุทที่จุด 1 ในวงจร หรือขา V2 ของวงจรอินสทรูเมนท์ใน channel 1 แล้วทำการวัดสัญญาณเอาท์พุทที่จุด 4 หรือขา 25 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ภาคส่งใน channel 2 ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.33



Channel 1 แสดงสัญญาณเสียงที่ป้อนให้วงจรรวม

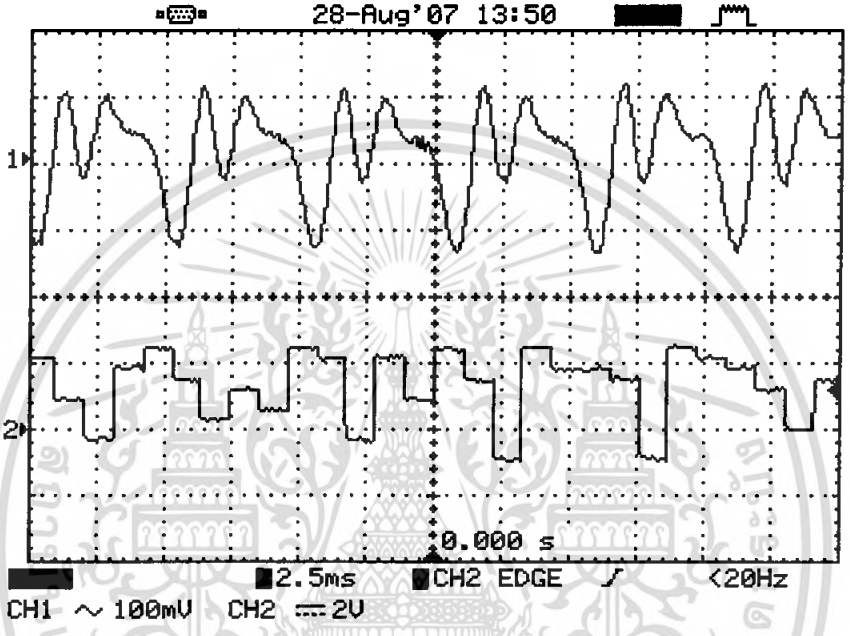
Channel 2 แสดงสัญญาณที่แปลง A/D แล้ว

รูปที่ 4.33 แสดงสัญญาณเสียงที่ผ่านการแปลง A/D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2.2 ผลการทดลองวงจร D/A

จากนั้นทำการวัดสัญญาณอินพุทที่จุด 1 ในวงจร หรือขา V2 ของวงจรอินสทรูเมนท์ใน channel 1 แล้วทำการวัดสัญญาณเอาท์พุทที่จุด 5 หรือขา DA0 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ภาครับใน channel 2 ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.34



Channel 1 แสดงสัญญาณเสียงที่ป้อนให้วงจรรวม

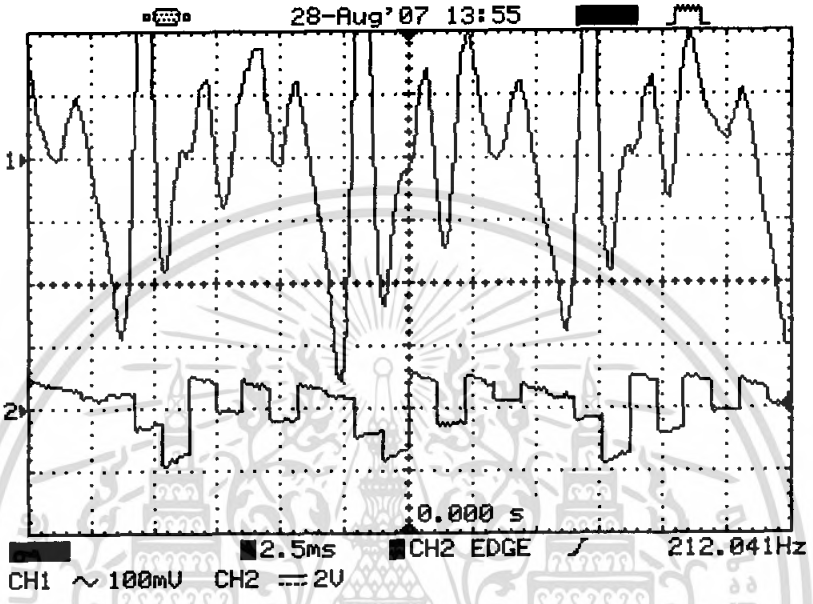
Channel 2 แสดงสัญญาณที่แปลง D/A แล้ว

รูปที่ 4.34 แสดงสัญญาณเสียงที่ผ่านการแปลง D/A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 ผลการทดลองวงจร Audio Amplifier

จากนั้นทำการวัดสัญญาณอินพุทที่จุด 1 ในวงจร หรือขา V2 ของวงจรอินสทรูเมนท์ใน channel 1 แล้วทำการวัดสัญญาณเอาท์พุทที่จุด 6 หรือขา Vout ของวงจรออดิโอ ใน channel 2 ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.35



Channel 1 แสดงสัญญาณเสียงที่ป้อนให้วงจรรวม

Channel 2 แสดงสัญญาณเสียงออกจากวงจรออดิโอ

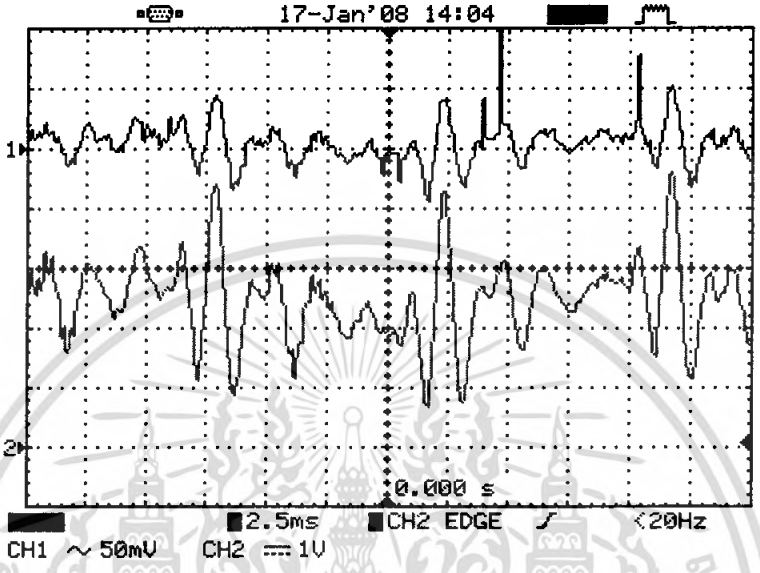
รูปที่ 4.35 แสดงสัญญาณเสียงที่ผ่านวงจรออดิโอแอมป์

4.4 ผลการทดลองของวงจรโทรศัพท์เมื่อรวมกับวงจรสื่อสารไร้สาย

ในส่วนสุดท้ายเมื่อทำการเชื่อมวงจรโทรศัพท์เข้ากับวงจรสื่อสารไร้สาย (ภาคผนวกรูปที่ 10) จากนั้นทำการกดหมายเลขติดต่อผู้รับ เมื่อผู้รับทำการรับสายแล้วทำการวัดสัญญาณเสียงที่จุดต่างๆของวงจร โดยเริ่มจากสัญญาณเสียงที่ผู้เรียกพูดจากไมโครโฟนไปจนถึง สัญญาณเสียงที่ถูกส่งไปในสายโทรศัพท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อผู้เรียกทำการพูดใส่ไมโครโฟน จะได้สัญญาณเสียงดังแสดงในรูปที่ 4. ใน Channel 1 จากนั้นวงจรอินสทรูเมนท์แอมป์ (ภาคผนวกรูปที่ 5) จะทำการขยายและยกระดับสัญญาณเสียง จะได้สัญญาณเสียงดังแสดงในรูปที่ 4.36 ใน Channel 2



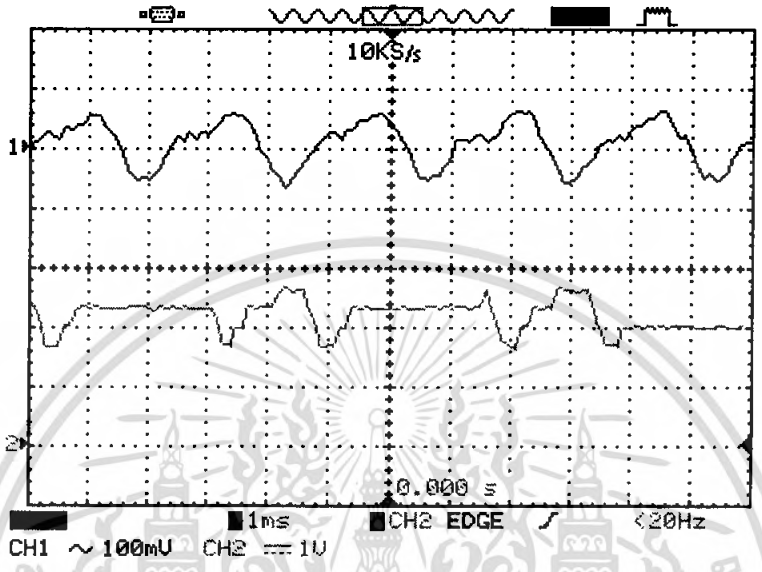
Channel 1 แสดงสัญญาณเสียงจากไมโครโฟน

Channel 2 แสดงสัญญาณเสียงที่ผ่านการยกระดับสัญญาณ

รูปที่ 4.36 แสดงสัญญาณเสียงจากไมโครโฟนที่ผ่านการยกระดับสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นสัญญาณเสียงจะถูกส่งเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์และทำการแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล แล้วถูกส่งผ่านโมดูล TRW ไปยังฝั่งรับผ่านการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนาลอก จะได้สัญญาณเสียงดังแสดงในรูปที่ 4.37 ใน Channel 2



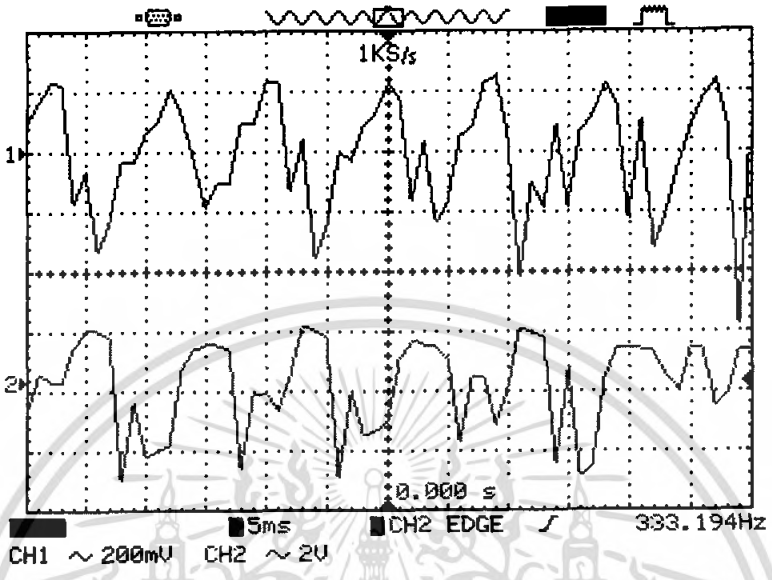
Channel 1 แสดงสัญญาณเสียงจากไมโครโฟน

Channel 2 แสดงสัญญาณเสียงหลังจากการส่งผ่าน TRW

รูปที่ 4.37 แสดงสัญญาณเสียงจากไมโครโฟนหลังจากการส่งผ่าน TRW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นสัญญาณเสียงจะถูกกำจัดไฟกระแสตรงแล้วถูกส่งเข้าไปในสายโทรศัพท์ จะได้สัญญาณดังรูปที่ 4.38 ใน Channel 2



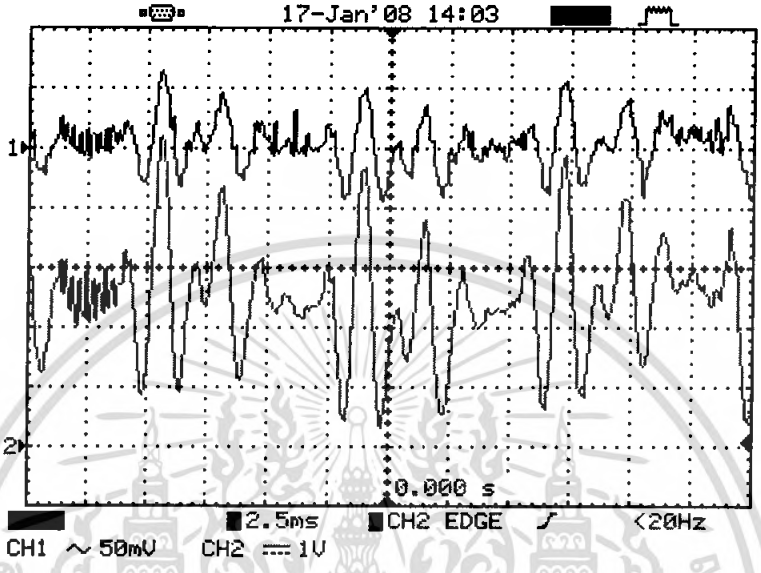
Channel 1 แสดงสัญญาณเสียงจากไมโครโฟน

Channel 2 แสดงสัญญาณเสียงที่ส่งผ่านสายโทรศัพท์

รูปที่ 4.38 แสดงสัญญาณเสียงจากไมโครโฟนที่ส่งผ่านสายโทรศัพท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของสัญญาณเสียงที่ส่งมาจากผู้รับสายผ่านสายโทรศัพท์ จะได้สัญญาณเสียงดังรูปที่ 4.39 ใน Channel 1 สัญญาณเสียงนั้นจะถูกยกระดับสัญญาณ เพื่อเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล แล้วส่งผ่านโมดูล TRW ไปยังฝั่งรับ



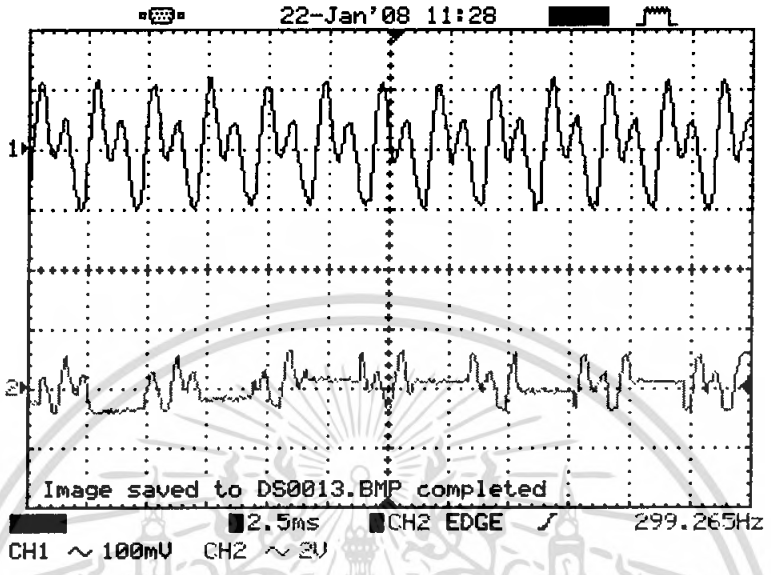
Channel 1 แสดงสัญญาณเสียงที่รับจากสายโทรศัพท์

Channel 2 แสดงสัญญาณเสียงที่ผ่านการยกระดับสัญญาณ

รูปที่ 4.39 แสดงสัญญาณเสียงที่ผ่านการยกระดับสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อโมดูล TRW ฝั่งรับรับสัญญาณจะส่งข้อมูลให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อทำการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนาลอก จะได้สัญญาณเสียงดังรูปที่ 4.40 ใน Channel 2



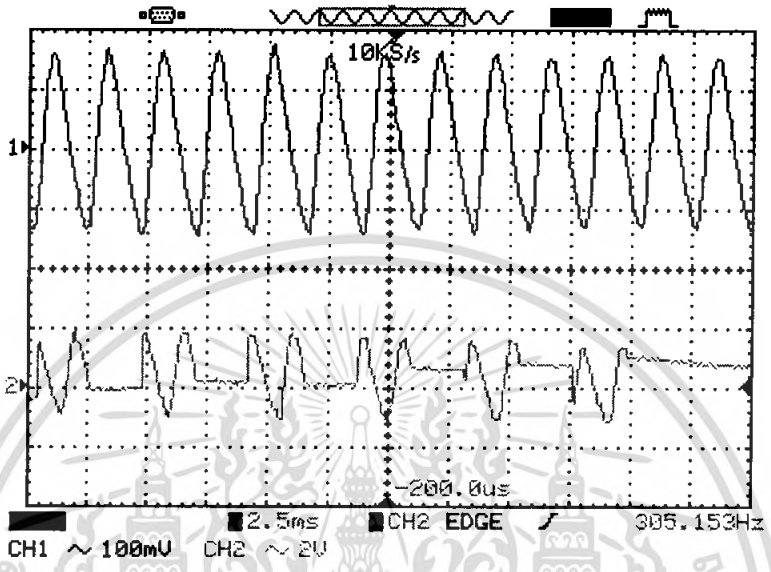
Channel 1 แสดงสัญญาณเสียงที่รับจากสายโทรศัพท์

Channel 2 แสดงสัญญาณเสียงหลังจากการส่งผ่าน TRW

รูปที่ 4.40 แสดงสัญญาณเสียงหลังจากการส่งผ่าน TRW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นสัญญาณเสียงจะถูกขยายกำลังด้วยวงจรออดิโอแอมป์ (ภาคผนวกรูปที่ 6) จะได้สัญญาณเสียงดังรูปที่ 4.41 ใน Channel 2



Channel 1 แสดงสัญญาณเสียงที่รับจากสายโทรศัพท์

Channel 2 แสดงสัญญาณเสียงหลังผ่านวงจรออดิโอแอมป์

รูปที่ 4.41 แสดงสัญญาณเสียงหลังผ่านวงจรออดิโอแอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทวิจารณ์และบทสรุป

โครงงานนี้เป็นการทดลองใช้โมดูล TRW ในการส่งสัญญาณเสียงแบบไร้สาย โดยโมดูล TRW นั้นมีข้อดีคือ ใช้ดิจิตอลมอดูเลตแบบจีเอฟเอสเค (GFSK : Gaussian Phase Shift Keying) มาจากเทคนิคการมอดูเลตแบบเอฟเอสเค (FSK) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้แบนด์วิดท์ และง่ายต่อการใช้งาน

โดยในโครงงานนี้ประกอบด้วย 6 ส่วนดังนี้

1. วงจรเสียงพูด ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณเสียงพูดให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าแล้วส่งไปยังคู่สนทนา และเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าที่ส่งมาจากคู่สนทนาให้เป็นสัญญาณเสียงพูด ทำให้พูดคุยกันได้ อีกทั้งทำหน้าที่เชื่อมส่วนต่างๆเข้ากับสายโทรศัพท์ เช่น เชื่อมวงจรกำเนิดสัญญาณความถี่คู่ให้สามารถส่งสัญญาณความถี่คู่ไปยังสายโทรศัพท์ได้ อีกทั้งยังสามารถใช้งานฟังก์ชั่น(Function) ต่างๆ เช่น ฟังก์ชั่นเงียบเสียง (Mute) ฟังก์ชั่นเลือกการใช้งานสัญญาณพัลส์ (Pulse) หรือโทน (Tone) เป็นต้น

2. วงจรกำเนดสัญญาณความถี่คู่ ทำหน้าที่สร้างสัญญาณความถี่คู่ตามหมายเลขโทรศัพท์ที่กด ทำให้สามารถกำหนดหมายเลขที่จะติดต่อกับผู้รับได้ โดยสัญญาณที่สร้างขึ้นมาจะมีความถี่แรกเหมือนกันในแถวเดียวกัน และจะมีความถี่ที่สองเดียวกันในหลักเดียวกัน

3. วงจรเสียงเรียก วงจรส่วนนี้เป็นวงจรที่เชื่อมระหว่างวงจรของเครื่องโทรศัพท์กับอุปกรณ์ของชุมสาย วงจรนี้จะกำเนิดเสียงเรียกเมื่อมีการติดต่อมาจากที่อื่น และจะถูกตัดออกไปเมื่อมีการยกหูโทรศัพท์

4.วงจรปรีแอมป์ ซึ่งทำหน้าที่ขยายสัญญาณเสียงที่รับมาจากไมโครโฟน ให้มีแรงดันสูงพอในการใช้งานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยวงจรปรีแอมป์ นั้นได้เลือกใช้วงจรขยายสัญญาณผลต่าง ซึ่งมีข้อดีคือสามารถลดสัญญาณรบกวนได้ดี และยังใช้งานร่วมกับวงจรกลับแรงดันและวงจรยกระดับสัญญาณอีกด้วย

5.วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้ในการแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล และการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนาลอกโดยเลือกได้ใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มี การแปลงแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล และการแปลงการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนาลอกในตัวเพื่อลดขนาดของวงจร ทำให้วงจรมีความคล่องตัวเหมาะแก่การใช้งานแบบไร้สาย โดยวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ยังทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของ โมดูล TRW ให้สามารถทำงานได้

6.วงจรขยายกำลังงาน ทำหน้าที่ขยายกำลังงานของสัญญาณเสียง เพื่อใช้ในการขับออกลำโพง

ปัญหาที่พบจากการทดลอง เนื่องจากการส่งอัตราการแซมปลิ้ง ของโมดูล TRW ยังช้าอยู่ อันเป็นผลอันเนื่องมาจากข้อจำกัดของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำให้สามารถส่งสัญญาณเสียงได้ในช่วงความถี่ต่ำ ที่ความถี่สูงๆนั้น การส่งสัญญาณเสียงยังมีความผิดเพี้ยนอยู่มาก และในการเชื่อมกันระหว่างส่วนวงจรโทรศัพท์กับส่วนวงจรสื่อสารไร้สาย จะพบสัญญาณรบกวนที่มาจากสายโทรศัพท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวทางการพัฒนานั้น สามารถนำไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีความเร็วในการประมวลผลสูง ซึ่งเหมาะกับการประมวลผลสัญญาณเสียงมาใช้ และสามารถเพิ่มฟังก์ชั่นต่าง เช่น การบันทึกหมายเลขโทรศัพท์ แสดงหมายเลขที่ไม่ได้รับ และการบันทึกข้อความเมื่อไม่มีผู้รับ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] นายสุขุม ลัยกิจมงคล, "วิทยานิพนธ์ เรื่อง การออกแบบวงจรขยายอินสทรูเมนท์แรงดันต่ำโดยใช้ซีมอส",2548

[2] นายชาญชัย ยศบุญ,นายสลัด ช่างประเสริฐ, "ปริญญานิพนธ์ เรื่อง การออกแบบวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลแบบเฟสขนาด 6 บิต",2545

[3] นายไพศาล ธรรมรักษา ,นายศุภกร ภาศสารศรี,นายสถิต ศรีมงคล, "ปริญญานิพนธ์ เรื่อง การออกแบบวงจร A/D สำหรับสัญญาณเสียง",2541

[4] นายณัฐพงศ์ อินทราภิบาล,นางสาวสุรีย์พร เผชิญมหาโยธิน, "ปริญญานิพนธ์ เรื่อง POWER AMP MOSFET 400 W",2539

[5] นายป่านคม พัฒนพีระเดช,นายภัทรชัย อุปริพุทธิกุล, "ปริญญานิพนธ์ เรื่อง A/D & D/A DEMONSTRATION", 2541

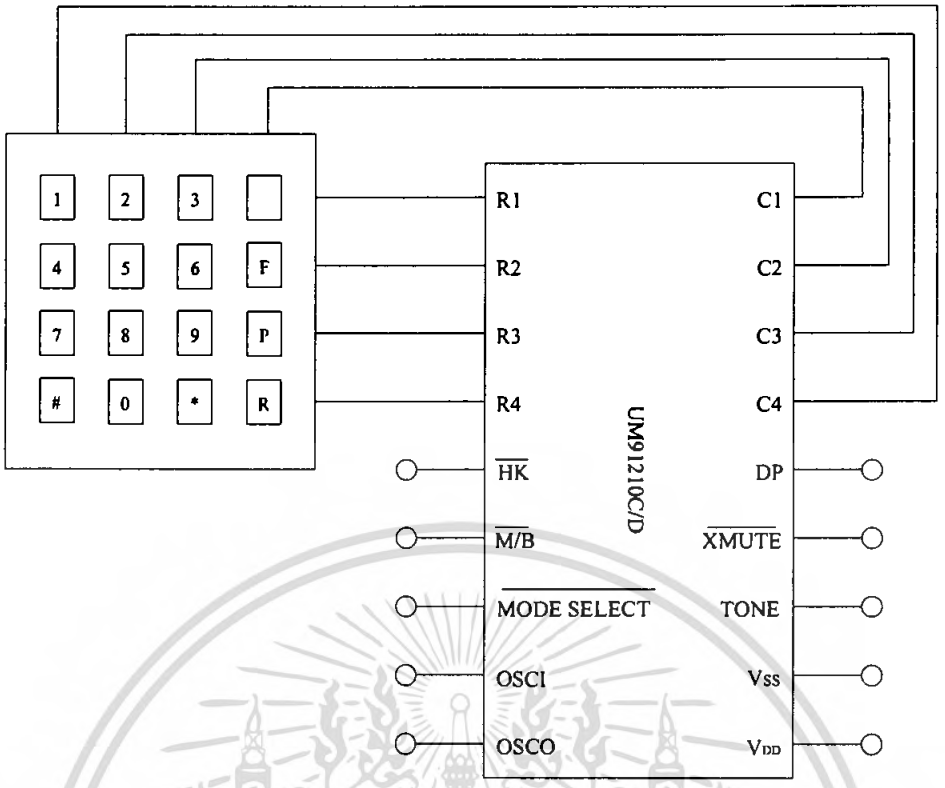
[6] นายปานวิทย์ ธุวะนุติ, "ปริญญานิพนธ์ เรื่อง เครื่องตอบรับ-สั่งงานทางโทรศัพท์",2541

[7]นายปิติ กิจวรมณี, "ปริญญานิพนธ์ เรื่อง โทรศัพท์ไร้สาย", 2544

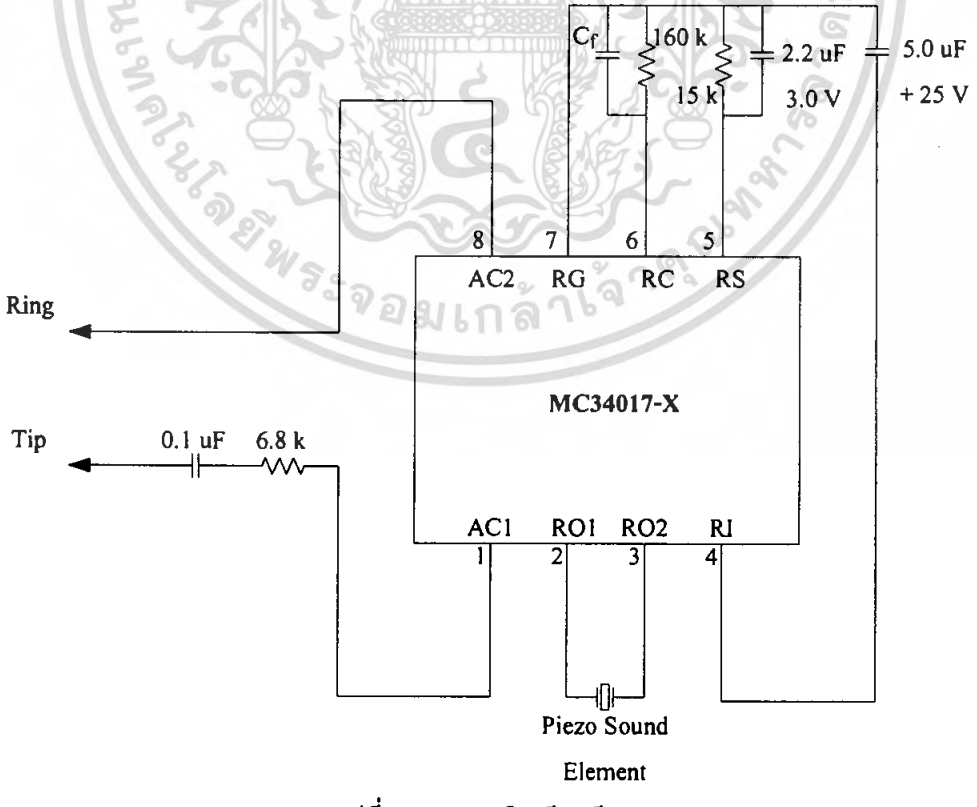
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

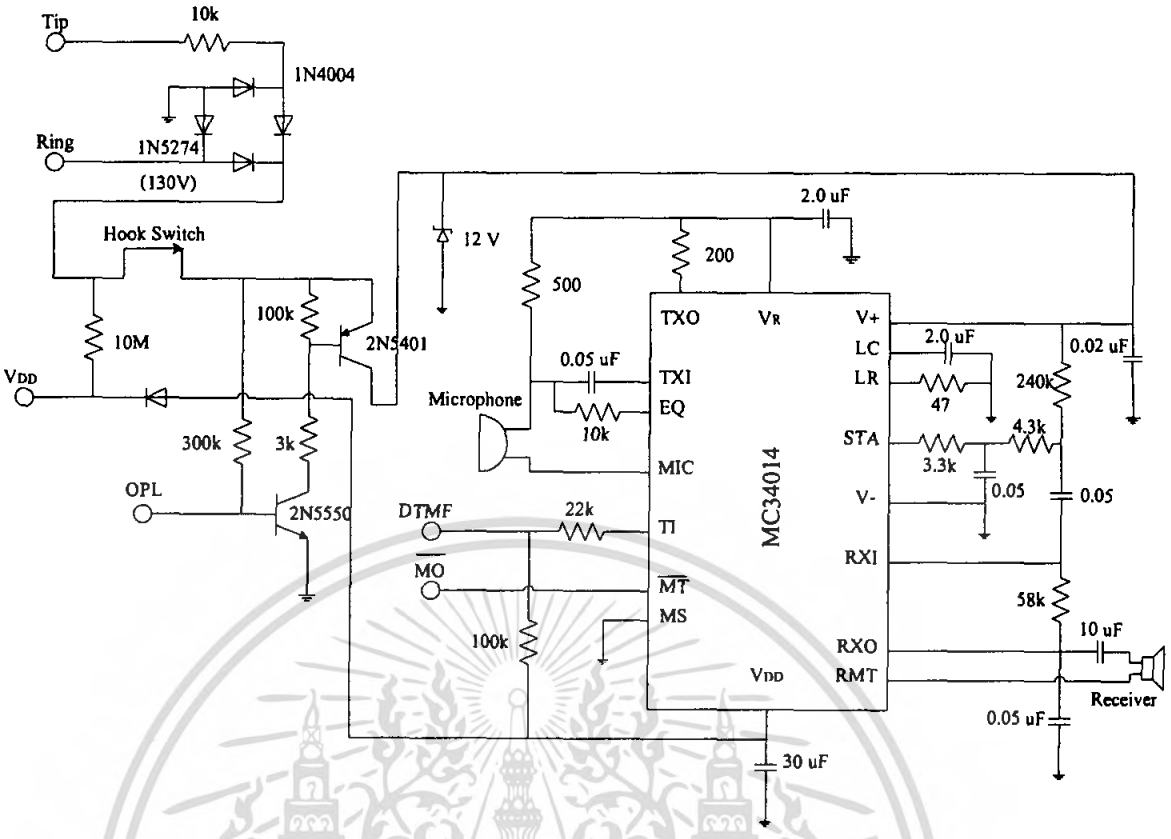


รูปที่ 1 วงจรกำเนิดสัญญาณความถี่ดีทีเอ็มเอฟ



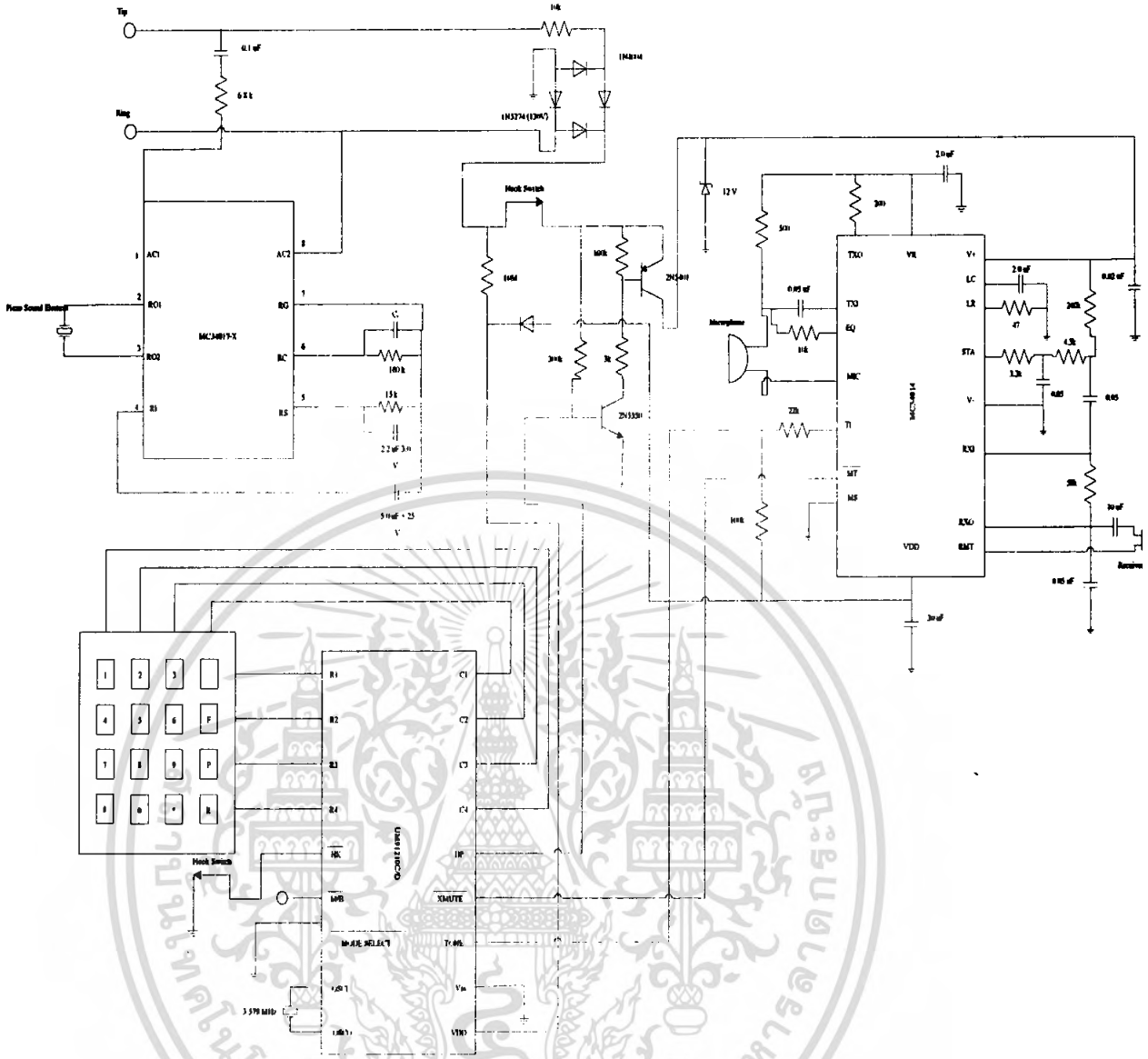
รูปที่ 2 วงจรกำเนิดเสียงเรียก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



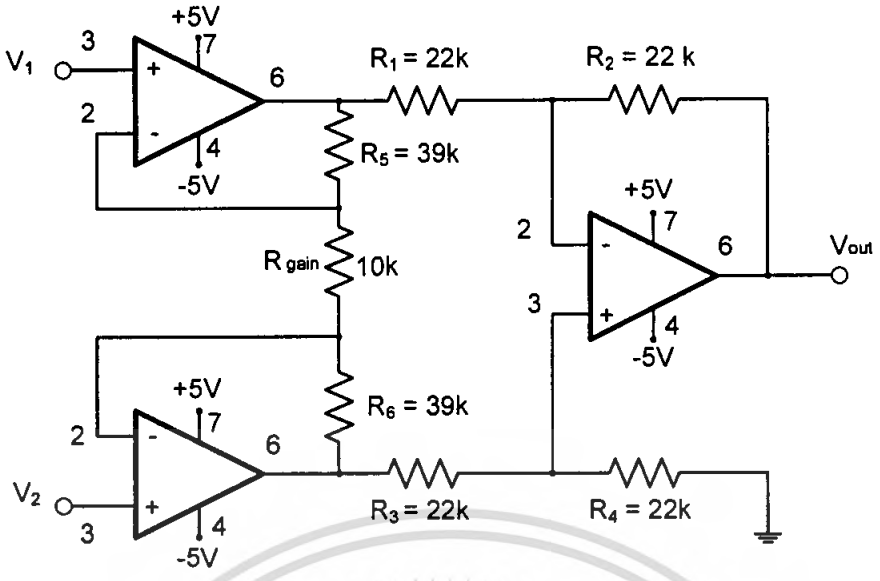
รูปที่ 3 วงจรเสียงพูด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

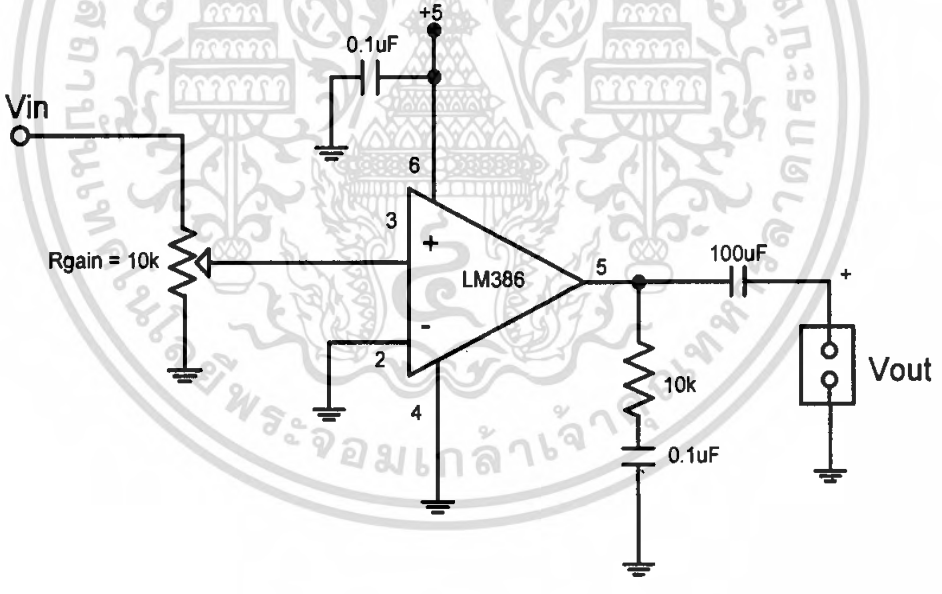


รูปที่ 4 วงจรโทรศัพท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

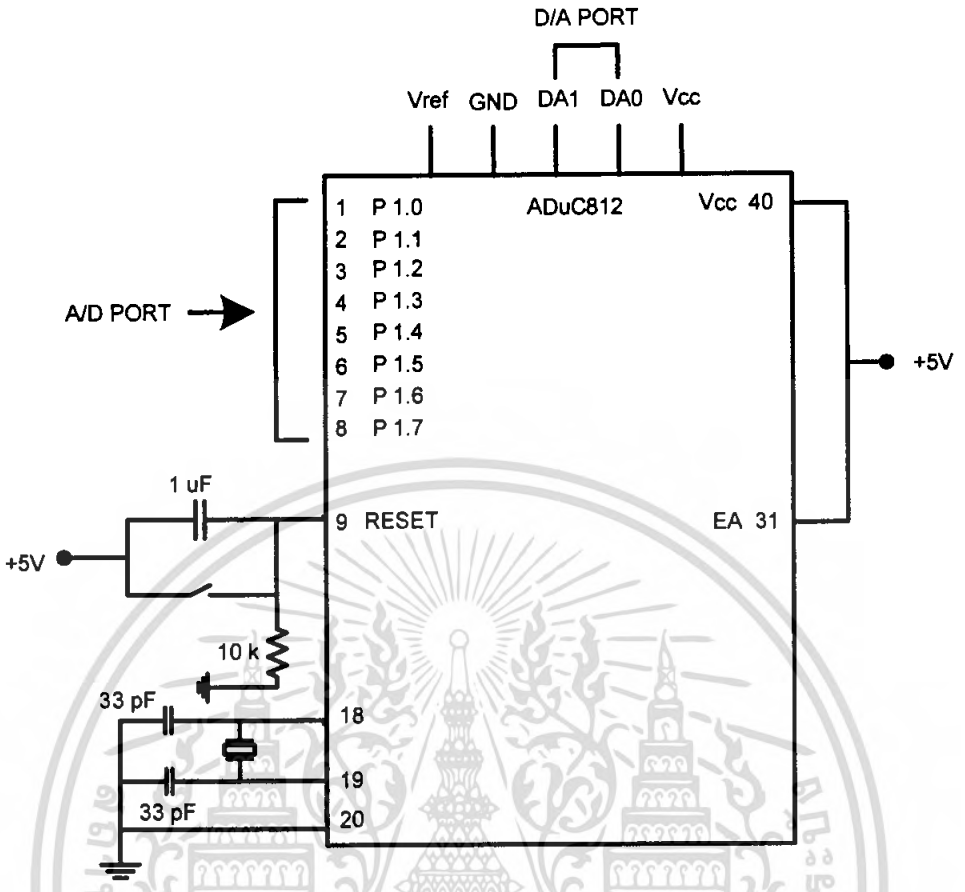


รูปที่ 5 วงจรขยายอินสทรูเมนท์

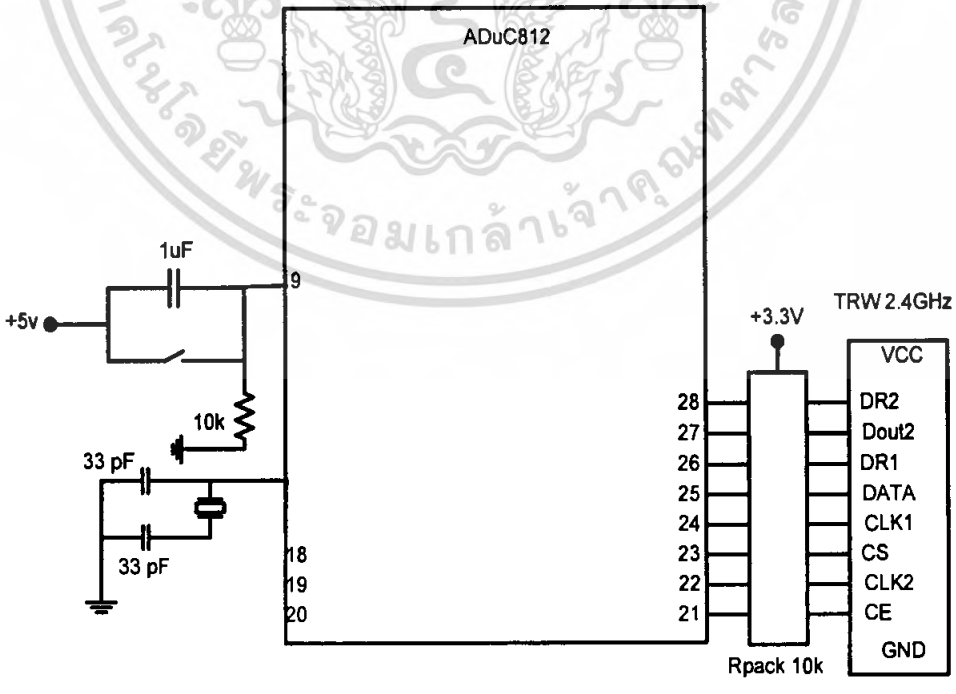


รูปที่ 6 วงจรขยายออดิโอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

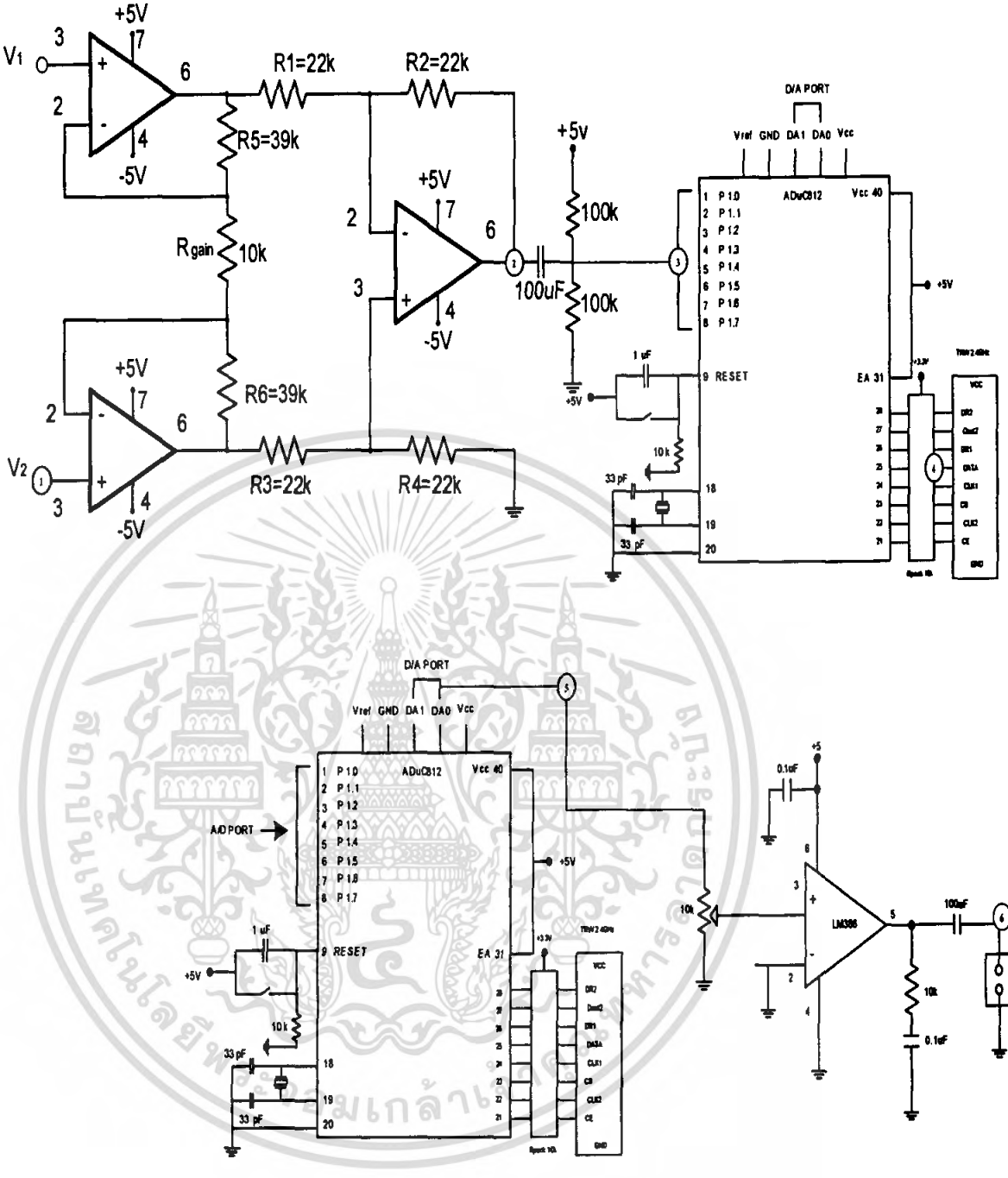


รูปที่ 7 วงจรแปลง A/D และ D/A



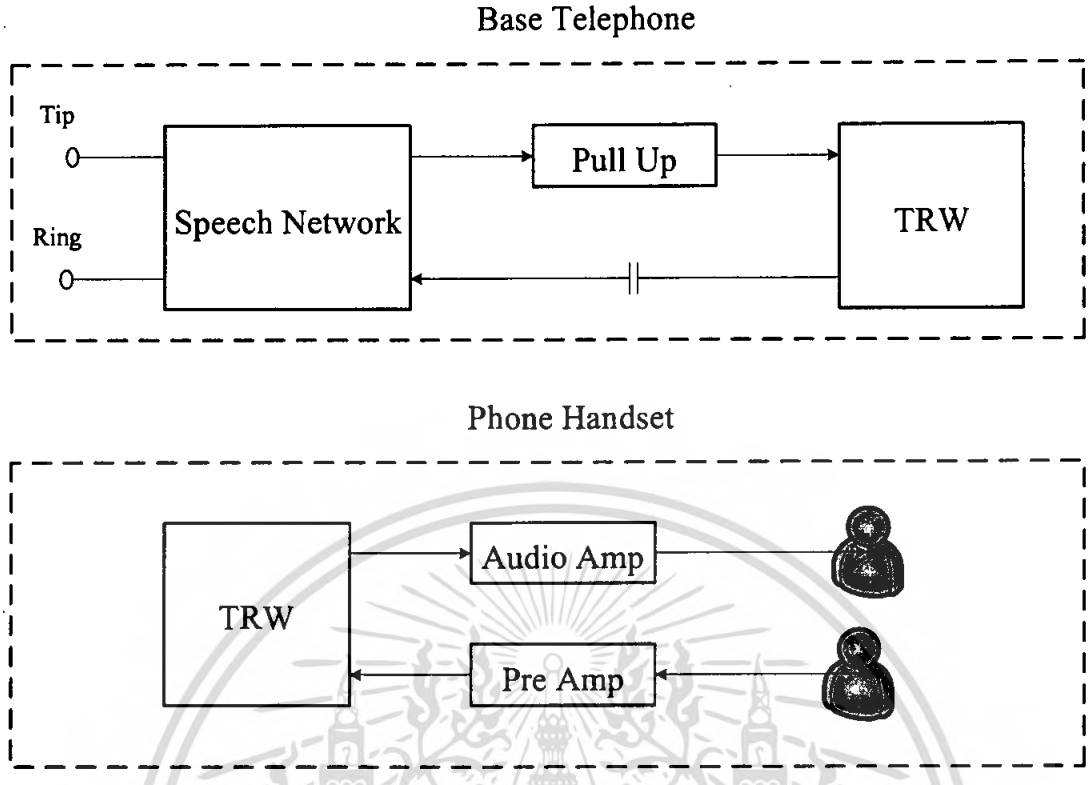
รูปที่ 8 วงจรการรับและส่งข้อมูลผ่าน TRW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



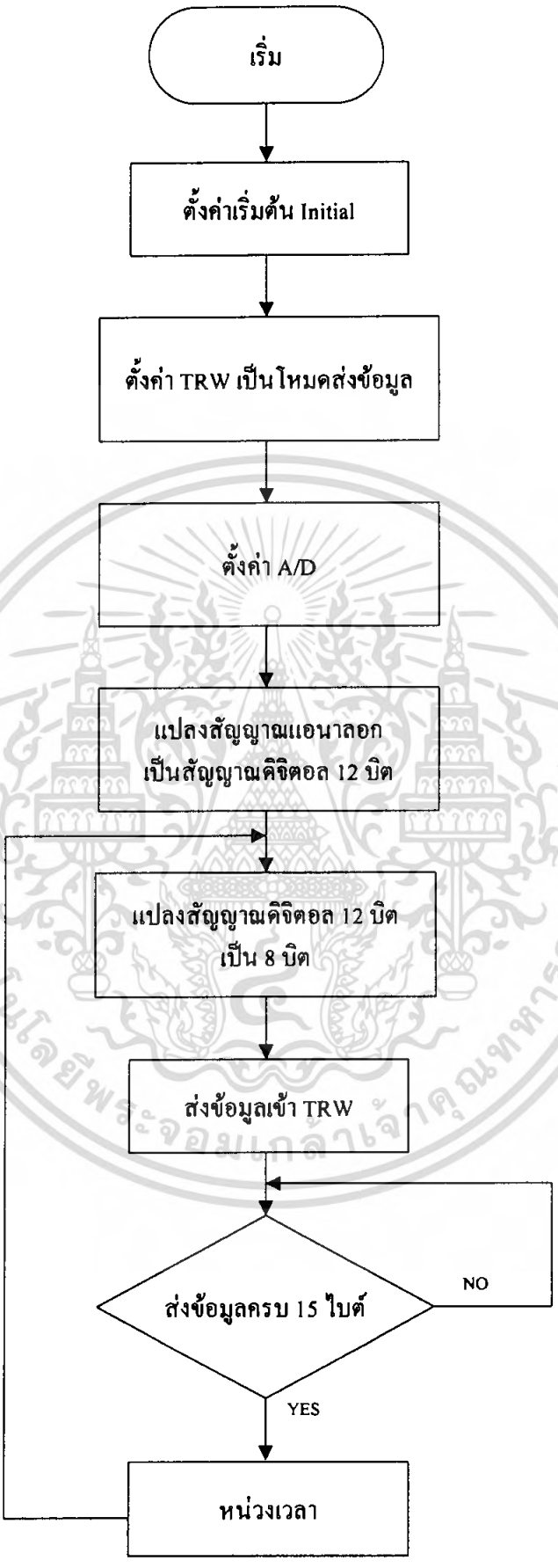
รูปที่ 9 วงจรรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



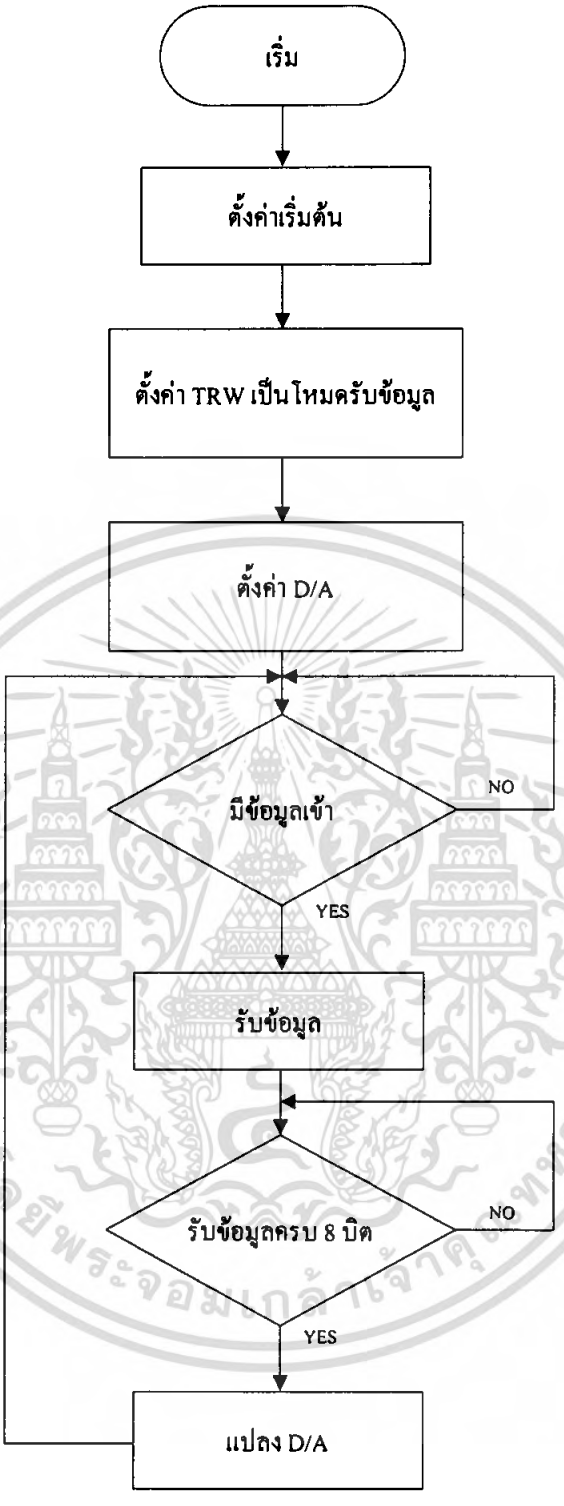
รูปที่ 10 แผนภาพวงจรโทรศัพท์เมื่อรวมกับวงจรสื่อสารไร้สาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 11 แผนผังโปรแกรมภาคส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 12 แผนผังโปรแกรมภาครับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Program 1 : โปรแกรมการแปลง A/D

```
;*********************************************************************
; DEFINE CONSTANTS
;*********************************************************************
CHAN        EQU   0       ; convert this ADC input channel ,chan values can be 0 thru 8
ADCCON1     EQU   0EFH
ADCDATAH    EQU   0DAH
ADCDATAL    EQU   0D9H
ADCCON2     EQU   0D8H
EADC        EQU   0AEH
CCONV       EQU   0DDH
;*********************************************************************
; BEGINNING OF CODE
;*********************************************************************
ORG   0000H
JMP   MAIN ; jump to main program
;*********************************************************************
; INTERRUPT VECTOR SPACE
;*********************************************************************
ORG   0033H
CONT: MOV   P2,ADCDATAH
      MOV   P0,ADCDATAL
EXIT: RETI
;*********************************************************************
; MAIN PROGRAM
;*********************************************************************
ORG   0100h  ; Start at address above interrupts
MAIN: MOV   ADCCON1,#0ACh
      MOV   ADCCON2,#CHAN
      SETB  EA                ; enable interrupts
      SETB  EADC              ; enable ADC interrupt
      SETB  CCONV       ; begin continuous conversions
AGAIN:
      JMP   AGAIN             ; repeat
END
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Program 2 : โปรแกรมแปลง A/D และ D /A

```
;*********************************************************************
;       DEFINE CONSTANTS
;*********************************************************************
CHAN        EQU   0       ; ADC input channel
ADCCON1     EQU   0EFH    ; Set Address ATOD
ADCDATAH    EQU   0DAH
ADCDATAL    EQU   0D9H
ADCCON2     EQU   0D8H
EADC        EQU   0AEH
CCONV       EQU   0DDH
DACCON      EQU   0FDH    ; Set Address DTOA
DAC0L       EQU   0F9H
DAC0H       EQU   0FAH
;*********************************************************************
;       BEGINNING OF CODE
;*********************************************************************
ORG   0000H
JMP   MAIN          ; jump to main program
;*********************************************************************
;       INTERRUPT VECTOR SPACE
;*********************************************************************
ORG   0033H         ; (ADC ISR)
CONT: MOV   P2,ADCDATAH
      MOV   P0,ADCDATAL
      MOV   DAC0H,ADCDATAH
      MOV   DAC0L,ADCDATAL
EXIT: RETI
;*********************************************************************
;       MAIN PROGRAM
;*********************************************************************
ORG   0100H                 ; Start at address above interrupts
MAIN: MOV   DACCON,     #01111111B      ; Set DTOD
      MOV   ADCCON1,#01111100B          ; Set ATOD
      MOV   ADCCON2,#CHAN               ; select channel to convert
      SETB  EA                          ; enable interrupts
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        SETB    EADC                    ; enable ADC interrupt
        SETB    CCONV                   ; begin continuous conversions
AGAIN:
        JMP     AGAIN                   ; repeat
END
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Program 3 : โปรแกรม TRW ภาคส่ง

```
CE      BIT     P2.0                    ;Set TRW Pin
CLK2    BIT     P2.1
CS      BIT     P2.2
CLK     BIT     P2.3
DAT     BIT     P2.4
DR1     BIT     P2.5
DOUT2   BIT     P2.6
DR2     BIT     P2.7
ORG     0000H
MAIN:   MOV     P0,#00000000B   ;CLR P0
        CALL    INIT
        CALL    SETMODE_TX
;*************************************************************************
;               MAIN TX : Get DATA      IN ACC and sent to Receiver
;*************************************************************************
MAIN_TX:        MOV     A,#11110000B
                MOV     P0,A
                CALL    SEND_TRW
                CPL     P1.0
                CALL    SEND_DELAY
                MOV     P0,A
                MOV     A,#00000000B
                CALL    SEND_TRW
                CPL     P1.0
                CALL    SEND_DELAY
                LJMP    MAIN_TX
;*************************************************************************
;               Initial for use TRW Channel1
;*************************************************************************
INIT:           CLR     CE
                CLR     CLK2
                CLR     CS
                CLR     CLK
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                CLR     DAT
                CLR     DR1
                CLR     DOUT2
                CLR     DR2

                RET
;*******************************************************************************
;               Function Config for TRW TX
;*******************************************************************************
SETMODE_TX:  CLR     CE
                SETB    CS
                CLR     A
                MOV     R1,#18                          ;18*8 = 144bit
SETMODE_0_TX:       MOV     DPTR,#CONFIG_TEST_TX        ;Set Header
                    PUSH    ACC
                    MOVC    A,@A+DPTR
                    CALL    WRITE_TRW24
                    POP     ACC
                    INC     A
                    DJNZ    R1,SETMODE_0_TX
                    SETB    DAT
                    SETB    DR1
                    SETB    CE
                    CLR     CS
                    RET
;*******************************************************************************
;               Function Send Address+DATA to Receiver
;*******************************************************************************
SEND_TRW:       CLR     CS
                SETB    CE
                PUSH    ACC
                CLR     A
                MOV     R1,#5
SEND_TRW_0:     MOV     DPTR,#CONFIG_ADDR1_TX
                PUSH    ACC
                MOVC    A,@A+DPTR
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                CALL    WRITE_TRW24
                POP     ACC
                INC     A
                DJNZ    R1,SEND_TRW_0
                POP     ACC
                CALL    WRITE_TRW24
                CLR     CLK
                CLR     CE
                CLR     DAT
                RET
;*******************************************************************************
;               Write 8 bit to DATA pin
;*******************************************************************************
WRITE_TRW24:    MOV     R0,#8
WRITE_TRW24_0:  JB      ACC.7,WRITE1
                CLR     DAT
                JMP     WRITE_TRW2
WRITE1:         SETB    DAT
WRITE_TRW2:     CALL    CLK_TRW
                RL      A
                DJNZ    R0,WRITE_TRW24_0
                RET
;*******************************************************************************
;               Function Generate Clock to pin CLK
;*******************************************************************************
CLK_TRW:        CLR     CLK
                ;CALL   DELAY_1ms
                SETB    CLK
                ;CALL   DELAY_1ms
                RET
;*******************************************************************************
;               Clock Delay
;*******************************************************************************
CLOCK_DELAY:    MOV     R6,#050H
CLOCK_DELAY_1:  DJNZ    R6,CLOCK_DELAY_1
                RET
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;*******************************************************************************
;                    Send Delay
;*******************************************************************************
SEND_DELAY:          MOV    R6,#080H
SEND_DELAY_1:        DJNZ   R6,SEND_DELAY_1
                     RET
;*******************************************************************************
;                    Define Config Header TX for TRW
;*******************************************************************************
CONFIG_TEST_TX:      DB 8EH,08H,1CH
CONFIG_LEN2_TX:      DB 08H
CONFIG_LEN1_TX:      DB 08H
CONFIG_ADDR2_TX:     DB 0C0H,0AAH,55H,0AAH,55H
CONFIG_ADDR1_TX:     DB 0AAH,55H,0AAH,55H,0AAH
CONFIG_NUMADDR_TX:       DB 0A3H
CONFIG_RF_TX:            DB 6FH
CONFIG_CH_TX:            DB 00H ;TX
;CONFIG_CH:          DB 0BH ;RX
END
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Program 4 : โปรแกรม TRW ภาครับ

```
CE      BIT     P2.0                    ;Set TRW Pin
CLK2    BIT     P2.1
CS      BIT     P2.2
CLK     BIT     P2.3
DAT     BIT     P2.4
DR1     BIT     P2.5
DOUT2   BIT     P2.6
DR2     BIT     P2.7
ORG     0000H
MAIN:           MOV     P0,#00000000B   ;CLR P0
                CALL    INIT
                CALL    SETMODE_RX
;*************************************************************************
;               MAIN RX : Get DATA      From TRW and Action
;*************************************************************************
MAIN_RX:        JNB     DR1,$
                CALL    READ_TRW24
                MOV     P0,A
                LJMP    MAIN_RX
;*************************************************************************
;               Initial     for use TRW Channel1
;*************************************************************************
INIT:           CLR     CE
                CLR     CLK2
                CLR     CS
                CLR     CLK
                CLR     DAT
                CLR     DR1
                CLR     DOUT2
                CLR     DR2
                RET
;*************************************************************************
;               Function Config for TRW RX
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;*******************************************************************************
SETMODE_RX:         CLR   CE
                    SETB  CS
                    CLR   A
                    MOV   R1,#18                ;18*8 = 144bit
SETMODE_0_RX:       MOV   DPTR,#CONFIG_TEST_RX  ;Set Header
                    PUSH  ACC
                    MOVC  A,@A+DPTR
                    CALL  WRITE_TRW24
                    POP   ACC
                    INC   A
                    DJNZ  R1,SETMODE_0_RX
                    SETB  DAT
                    SETB  DR1
                    SETB  CE
                    CLR   CS
                    RET
;*******************************************************************************
;               READ 8 bit DATA from TRW
;*******************************************************************************
READ_TRW24:         CLR   A
                    MOV   R0,#8
READ_TRW24_0:       RL    A
                    SETB  CLK
                    JB    DAT,READ_1
                    CLR   ACC.0
                    JMP   READ_TRW24_1
READ_1:             SETB  ACC.0
READ_TRW24_1:       CLR   CLK
                    DJNZ  R0,READ_TRW24_0
                    RET
;*******************************************************************************
;                   Write 8 bit to DATA pin
;*******************************************************************************
WRITE_TRW24:        MOV   R0,#8
WRITE_TRW24_0:      JB    ACC.7,WRITE1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    CLR     DAT
                    JMP     WRITE_TRW2
WRITE1:             SETB    DAT
WRITE_TRW2:         CALL    CLK_TRW
                    RL      A
                    DJNZ    R0,WRITE_TRW24_0
                    RET
;*******************************************************************************
;               Function Generate Clock to pin CLK
;*******************************************************************************
CLK_TRW:    CLR     CLK
            ;CALL   DELAY_1ms
            SETB    CLK
            ;CALL   DELAY_1ms
            RET
;*******************************************************************************
;               Define Config Header RX for TRW
;*******************************************************************************
CONFIG_TEST_RX:     DB 8EH,08H,1CH
CONFIG_LEN2_RX:     DB 08H
CONFIG_LEN1_RX:     DB 08H
CONFIG_ADDR2_RX:    DB 0C0H,0AAH,55H,0AAH,55H
CONFIG_ADDR1_RX:    DB 0AAH,55H,0AAH,55H,0AAH
CONFIG_NUMADDR_RX: DB 0A3H
CONFIG_RF_RX:       DB 6FH
;CONFIG_CH:         DB 0AH ;TX
CONFIG_CH_RX:       DB 01H ;RX
END
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Program 5 : โปรแกรมแปลง A/D และ TRW ภาคส่ง

```
;*********************************************************************
; Programer        :PukkyZ
; Date             :13 Jan 2008
; Program          :A2D Trw 96 bit (TxPart)
;*********************************************************************

;*********************************************************************
;                  DEFINE CONSTANTS
;*********************************************************************

CHAN             EQU   2          ;ADC input channel

ADCCON1          EQU   0EFH       ;Set Address ATOD
ADCDATAH         EQU   0DAH
ADCDATAL         EQU   0D9H
ADCCON2          EQU   0D8H
EADC             EQU   0AEH
CCONV            EQU   0DDH

CE       BIT     P2.0             ;Set TRW Pin
CLK2     BIT     P2.1
CS       BIT     P2.2
CLK      BIT     P2.3
DAT      BIT     P2.4
DR1      BIT     P2.5
DOUT2    BIT     P2.6
DR2      BIT     P2.7

;*********************************************************************
;                  BEGINNING OF CODE
;*********************************************************************

                 ORG     0000H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
MAIN:       MOV   P0,#00000000B          ;CLR P0

            CALL  INIT                   ;Initial Tx
            CALL  SETMODE_TX             ;Set Config Tx

            MOV   ADCCON1,#01111100B     ;Set A2D
            MOV   ADCCON2,#CHAN                ;select channel to convert

            SETB  CCONV

;*************************************************************************
;           MAIN TX : Get DATA      IN ACC and sent to Receiver
;*************************************************************************
MAIN_TX:    CALL  SEND_TRW

            CALL  SEND_DELAY

            LJMP  MAIN_TX

;*************************************************************************
;           Initial   for use TRW Channel1
;*************************************************************************
INIT:       CLR   CE
            CLR   CLK2
            CLR   CS
            CLR   CLK
            CLR   DAT
            CLR   DR1
            CLR   DOUT2
            CLR   DR2

            RET

;*************************************************************************
;           Function Config for TRW TX
;*************************************************************************
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
SETMODE_TX:  CLR    CE
             SETB   CS
             CLR    A
             MOV    R1,#18                  ;18*8 = 144bit
SETMODE_0_TX:        MOV    DPTR,#CONFIG_TEST_TX        ;Set Header
             PUSH   ACC
             MOVC   A,@A+DPTR
             CALL   WRITE_TRW24
             POP    ACC
             INC    A
             DJNZ   R1,SETMODE_0_TX
             SETB   DAT
             SETB   DR1
             SETB   CE
             CLR    CS

             RET

;*************************************************************************
;            Function Send Address+DATA to Receiver
;*************************************************************************
SEND_TRW:    CLR    CS
             SETB   CE

             CLR    A
             MOV    R1,#5
SEND_TRW_0:  MOV    DPTR,#CONFIG_ADDR1_TX
             PUSH   ACC
             MOVC   A,@A+DPTR
             CALL   WRITE_TRW24
             POP    ACC
             INC    A
             DJNZ   R1,SEND_TRW_0

             MOV    R2,#25          ;Write Data 5*8 = 40 bit
SEND_DATA:   CALL   WRITE_DATA
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                DJNZ    R2,SEND_DATA

                CLR     CLK
                CLR     CE
                CLR     DAT

                RET

;*******************************************************************************
;               Write DATA
;*******************************************************************************
WRITE_DATA:     CALL    FBIT            ;Get A/D to A

                MOV     R0,#8
WRITE_DATA_0:   JB      ACC.7,WRITE_DATA_1
                CLR     DAT
                JMP     WRITE_DATA_2
WRITE_DATA_1:           SETB    DAT
WRITE_DATA_2:           CALL    CLK_TRW
                RL      A
                DJNZ    R0,WRITE_DATA_0

                RET

;*******************************************************************************
;               Write 8 bit to DATA pin
;*******************************************************************************
WRITE_TRW24:    MOV     R0,#8
WRITE_TRW24_0:  JB      ACC.7,WRITE_TRW24_1
                CLR     DAT
                JMP     WRITE_TRW24_2
WRITE_TRW24_1:                  SETB    DAT
WRITE_TRW24_2:          CALL    CLK_TRW
                RL      A
                DJNZ    R0,WRITE_TRW24_0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                RET

;*********************************************************************
;               Convert 12 Bit to 4 Bit
;*********************************************************************
FBIT:   MOV     A,ADCDATAH      ;MOV AH to A
        SWAP    A               ;Swap AH
        MOV     P0,A

        RET

;*********************************************************************
;               Convert 12 Bit to 8 Bit
;*********************************************************************
EBIT:   MOV     A,ADCDATAL      ;MOV AL to A
        SWAP    A               ;Swap AL
        ANL     A,#00001111B    ;Set hight BIT 0
        MOV     ADCDATAL,A      ;MOV A to AL
        MOV     A,ADCDATAH      ;MOV AH to A
        SWAP    A               ;Swap AH
        ANL     A,#11110000B    ;Set Low BIT 0
        ORL     A,ADCDATAL      ;OR AL+AH

        RET

;*********************************************************************
;               Function Generate Clock to pin CLK
;*********************************************************************
CLK_TRW:        CLR     CLK
                ;CALL   CLOCK_DELAY
                SETB    CLK
                ;CALL   CLOCK_DELAY
                RET
;*********************************************************************
;               Clock Delay
;*********************************************************************
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
CLOCK_DELAY:        MOV    R6,#050H
CLOCK_DELAY_1:      DJNZ   R6,CLOCK_DELAY_1
                    RET
;*************************************************************************
;                   Send Delay
;*************************************************************************
SEND_DELAY:  MOV    R6,#0F0H
SEND_DELAY_1:       DJNZ   R6,SEND_DELAY_1
                    RET
;*************************************************************************
;                   Delay time 1ms
;*************************************************************************
DELAY_1ms:     MOV    R6,#0E6H
DELAY_1ms_1:   DJNZ   R6,DELAY_1ms_1
                    RET
;*************************************************************************
;                   Delay time 10ms
;*************************************************************************
DELAY_10ms:    MOV    R5,#0AH
DELAY_10ms_1:  CALL   DELAY_1ms
                    DJNZ   R5,DELAY_10ms_1
                    RET
;*************************************************************************
;                   Delay time 100ms
;*************************************************************************
DELAY_100ms:   MOV    R7,#100 ; Do 100 times
DELAY_100ms_1:      MOV    R6,#0E6H        ; Each loop = 1 ms
DELAY_100ms_2:      NOP
                    NOP
                    DJNZ   R6,DELAY_100ms_2
                    DJNZ   R7,DELAY_100ms_1
                    RET
;*************************************************************************
;                   Delay time 1s
;*************************************************************************
DELAY_1s:      MOV    R5,#0AH
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
DELAY_1s_1:     CALL    DELAY_100ms
                DJNZ    R5,DELAY_1s_1
                RET
;*******************************************************************************
;               Define Config Header TX for TRW
;*******************************************************************************
CONFIG_TEST_TX:         DB 8EH,08H,1CH
CONFIG_LEN2_TX:         DB 0C8H
CONFIG_LEN1_TX:         DB 0C8H
CONFIG_ADDR2_TX:        DB 0C0H,0AAH,55H,0AAH,55H
CONFIG_ADDR1_TX:        DB 0AAH,55H,0AAH,55H,0AAH
CONFIG_NUMADDR_TX:              DB 0A3H
CONFIG_RF_TX:                   DB 6FH ;
CONFIG_CH_TX:                   DB 00H ;TX
;CONFIG_CH:             DB 0BH ;RX

END
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Program 6 : โปรแกรมแปลง D /A และ TRW ภาครับ

```
;*********************************************************************
; Programer        :PukkyZ
; Date             :13 Jan 2008
; Program          :A2D Trw 96 bit (RxPart)
;*********************************************************************

;*********************************************************************
;                  DEFINE CONSTANTS
;*********************************************************************

DACCON             EQU    0FDH    ;Set Address DTOA
DAC0L              EQU    0F9H
DAC0H              EQU    0FAH

CE       BIT       P2.0            ;Set TRW Pin
CLK2     BIT       P2.1
CS       BIT       P2.2
CLK      BIT       P2.3
DAT      BIT       P2.4
DR1      BIT       P2.5
DOUT2    BIT       P2.6
DR2      BIT       P2.7

;*********************************************************************
;                  BEGINNING OF CODE
;*********************************************************************

                   ORG    0000H

MAIN:              MOV    P0,#00000000B   ;CLR P0

                   CALL   INIT            ;Initial Rx
                   CALL   SETMODE_RX      ;Set Config Rx
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                MOV     DACCON,         #11111111B      ;Set DTOD


;*******************************************************************************
;               MAIN RX : Get DATA      From TRW and Action
;*******************************************************************************
MAIN_RX:        JNB     DR1,$
                CALL    READ_TRW24
                MOV     P0,A
                MOV     DAC0L,A

                LJMP    MAIN_RX

;*******************************************************************************
;               Initial     for use TRW Channel1
;*******************************************************************************
INIT:           CLR     CE
                CLR     CLK2
                CLR     CS
                CLR     CLK
                CLR     DAT
                CLR     DR1
                CLR     DOUT2
                CLR     DR2

                RET

;*******************************************************************************
;               Function Config for TRW RX
;*******************************************************************************
SETMODE_RX:     CLR     CE
                SETB    CS
                CLR     A
                MOV     R1,#18                  ;18*8 = 144bit
SETMODE_0_RX:           MOV     DPTR,#CONFIG_TEST_RX        ;Set Header
                PUSH    ACC
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                MOVC  A,@A+DPTR
                CALL  WRITE_TRW24
                POP   ACC
                INC   A
                DJNZ  R1,SETMODE_0_RX
                SETB  DAT
                SETB  DR1
                SETB  CE
                CLR   CS

                RET

;*************************************************************************
;               READ 8 bit DATA from TRW
;*************************************************************************
READ_TRW24:     CLR   A
                MOV   R0,#8
READ_TRW24_0:   RL    A
                SETB  CLK
                JB    DAT,READ_1
                CLR   ACC.0
                JMP   READ_TRW24_1
READ_1:         SETB  ACC.0
READ_TRW24_1:   CLR   CLK
                DJNZ  R0,READ_TRW24_0

                RET

;*************************************************************************
;               Write 8 bit to DATA pin
;*************************************************************************
WRITE_TRW24:    MOV   R0,#8
WRITE_TRW24_0:  JB    ACC.7,WRITE_TRW24_1
                CLR   DAT
                JMP   WRITE_TRW24_2
WRITE_TRW24_1:  SETB  DAT
```

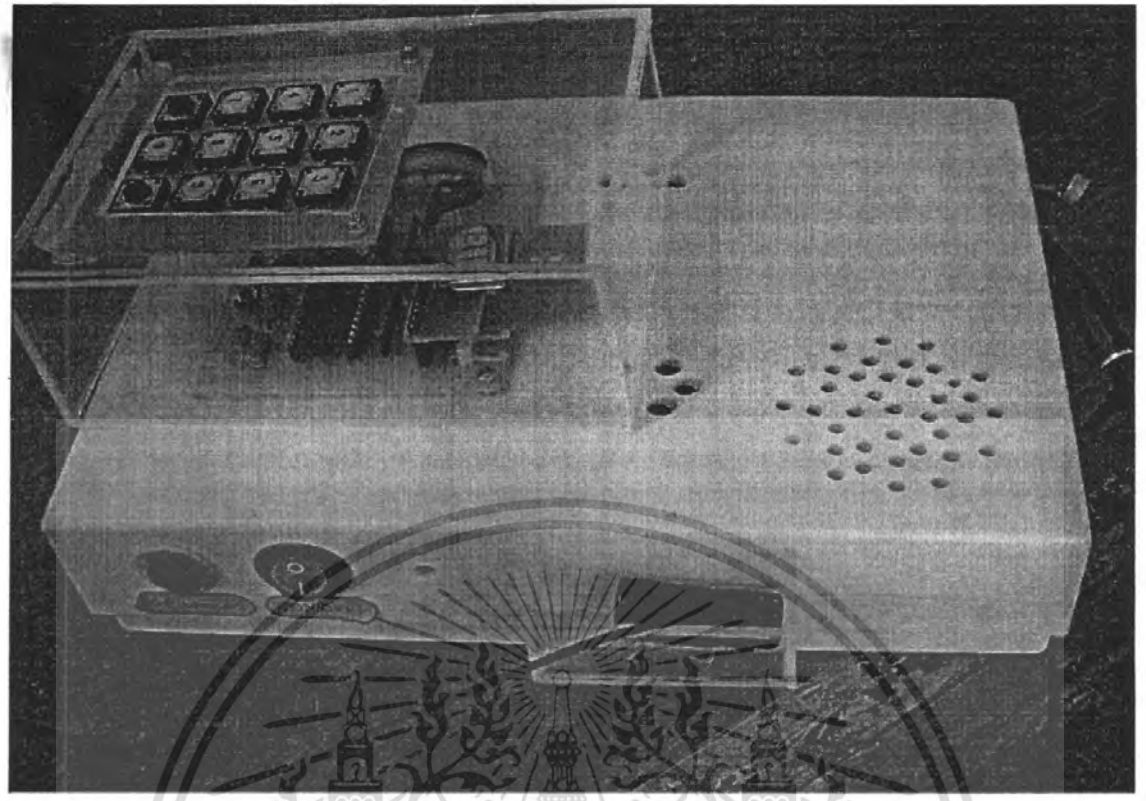
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
WRITE_TRW24_2:      CALL    CLK_TRW
                    RL      A
                    DJNZ    R0,WRITE_TRW24_0

                    RET

;*************************************************************************
;                   Function Generate Clock to pin CLK
;*************************************************************************
CLK_TRW:            CLR     CLK
                    ;CALL   CLOCK_DELAY
                    SETB    CLK
                    ;CALL   CLOCK_DELAY
                    RET
;*************************************************************************
;                   Clock Delay
;*************************************************************************
CLOCK_DELAY:        MOV     R6,#050H
CLOCK_DELAY_1:      DJNZ    R6,CLOCK_DELAY_1
                    RET
;*************************************************************************
;                   Delay time 1ms
;*************************************************************************
DELAY_1ms:          MOV     R6,#0E6H
DELAY_1ms_1:        DJNZ    R6,DELAY_1ms_1
                    RET
;*************************************************************************
;                   Delay time 10ms
;*************************************************************************
DELAY_10ms:         MOV     R5,#0AH
DELAY_10ms_1:       CALL    DELAY_1ms
                    DJNZ    R5,DELAY_10ms_1
                    RET
;*************************************************************************
;                   Delay time 100ms
;*************************************************************************
```

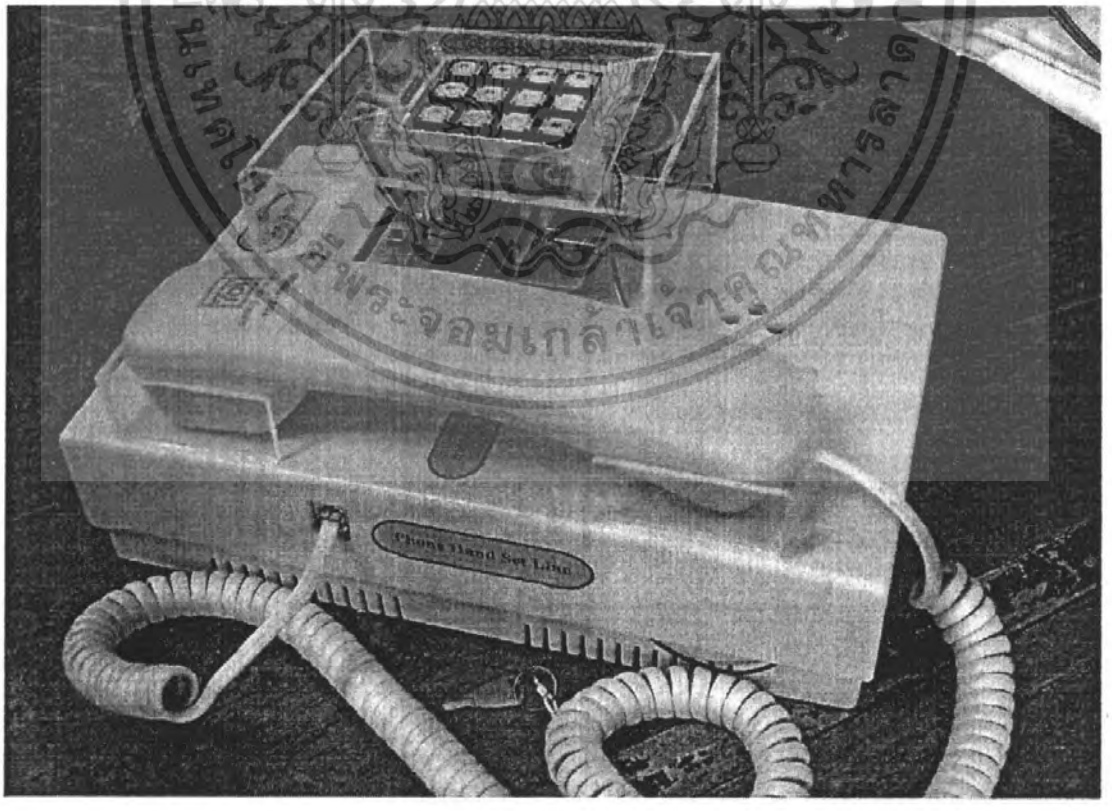
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
DELAY_100ms:  MOV    R7,#100 ; Do 100 times
DELAY_100ms_1:        MOV    R6,#0E6H        ; Each loop = 1 ms
DELAY_100ms_2:        NOP
              NOP
              DJNZ   R6,DELAY_100ms_2
              DJNZ   R7,DELAY_100ms_1
              RET
;*************************************************************************
;             Delay time 1s
;*************************************************************************
DELAY_1s:     MOV    R5,#0AH
DELAY_1s_1:   CALL   DELAY_100ms
              DJNZ   R5,DELAY_1s_1
              RET


;*************************************************************************
;             Define Config Header RX for TRW
;*************************************************************************
CONFIG_TEST_RX:       DB 8EH,08H,1CH
CONFIG_LEN2_RX:       DB 0C8H
CONFIG_LEN1_RX:       DB 0C8H
CONFIG_ADDR2_RX:      DB 0C0H,0AAH,55H,0AAH,55H
CONFIG_ADDR1_RX:      DB 0AAH,55H,0AAH,55H,0AAH
CONFIG_NUMADDR_RX:          DB 0A3H
CONFIG_RF_RX:               DB 6FH
;CONFIG_CH:           DB 0AH ;TX
CONFIG_CH_RX:               DB 01H ;RX

              END
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปโทรศัพท์ส่วนสถานีฐาน (Telephone Base Station)



รูปโทรศัพท์ส่วนโทรศัพท์มือถือ (Phone Handset)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้